



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA DE BEJAIA
Faculté des Sciences technologiques
Département Génie Electrique
Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Energie Renouvelable
OPTION : Énergie renouvelable en électrotechnique

Thème

Efficacité énergétique sur éclairage public

Réalisé par :

- KACED Hakim
- HAMIDOUCHE Idriss

Promoteur :

- Mr. Rezak ALKAMA

Encadré par :

-Mr. Benoit ARNAL

-Mr. Mustapha BENNOUCHEN

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la santé et la patience durant toute la période consacré à la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos encadreur Mr ALKAMA Rezak, Mr ARNAL Benoit et Mr BENOUCHE Mustapha, pour avoir accepté de dirigé ce travail et pour la confiance qu'ils nous ont témoigné, pour leur aide fournie afin de développer notre capacité de recherche, pour leur intérêt au sujet, nous les remercions aussi pour le grand soutien moral qu'ils nous ont apporté et leur patience.

Nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour l'honneur qu'ils nous font de bien vouloir le juger.

Nous finissons par remercier tous nos amis et collègues qui nous ont soutenus durant l'élaboration de notre travail.

Dédicaces

*Je rends grâce, à mon Dieu de m'avoir donné la force,
la Volonté, et la sagesse d'être patiente dans mes études.*

Je dédie ce travail à mes très chers parents :

*Mon père : ma source de volonté et d'espoir, qui a
Toujours cru en moi n'a pas cessé de m'inciter et de
M'encourager sans limites.*

*Ma mère, qui grâce à ses prières qui m'ont Accompagné
toujours, ses conseils valeureux qui m'ont Donné la
puissance et le courage.*

Un grand merci ;

À mes sœurs : Djedjiga, Mélissa.

À mon frère : Idris.

À mes tantes, cousins, cousines et oncles.

À mon binôme : Idriss.

À mes chères amis : hanane, mustapha, djugurta, cylie.

À tous les gens que je connais.

HAKIM

Dédicaces

Je dédie ce travail

A la mémoire de ma grand-mère

A mes très chers et précieux parents qui m'ont toujours

Soutenus, et à l'intérêt qu'ils ont toujours porté pour mes études

A mes frères : Houcine, Makhlouf, Azzedine, et leurs petites familles

A mes sœurs : Tamazouzth, Hassina, Saida, Razika, Salowa

A tous mes amis(es) : Anis, Sara, Lamine, Sarah, Oulhadj, Syfax, Celia,

Larbi

A mon binôme : Hakim

A ma deuxième famille « AAI » et a la mémoire de notre cher ami

Mennad Haddouche

A la promo « énergie renouvelable » 2018/2019

A tous les militants des causes justes

H Idriss

Sommaire

Sommaire

Listes des figures
Listes des tableaux
Introduction générale1

Chapitre I : Présentation d'INDIGO ENERGIE Algérie

I.1 Introduction 2
I.2 Présentation de l'entreprise 2
 I.2.1 Situation géographique 2
 I.2.2 Activités D'INDIGO ENERGIE Algérie 3
I.3 Différentes organes constituants INDIGO ENERGIE Algérie 4
I.4 Types de luminaire D'INDIGO ENERGIE Algérie 4
 I.4.1 Description de luminaire à LED 4
 I.4.2 Les différentes technologies lumineuses à LED chez INDIGO ENERGIE Algérie ... 5
 I.4.3 Les différents types d'alimentation de l'éclairage public..... 8
I.5 Installation des panneaux solaire chez INDIGO ENERGIE Algérie 9
I.6 Les différents équipements pour les systèmes autoconsommation chez INDIGO
ENERGIE Algérie 10
I.7 CONCLUSION 12

**Chapitre II : Généralités sur le matériel utilisé dans les éclairages
publics**

II.1 Introduction 13
II.2 Le concept de la photométrie 13
II.3 Définition de quelques grandeurs photométriques..... 13
 II.3.1 Le flux lumineux 14
 II.3.2 L'intensité lumineuse 14
 II.3.3 L'éclairement..... 15
 II.3.4 L'efficacité lumineuse 15
 II.3.5 La luminance 16
 II.3.6 Indice de rendu de couleur 16

Sommaire

II.4 Modes d'implantation des foyers d'éclairage public	16
II.4.3 Implantation axiale sur terre-plein central.....	17
II.4.4 Implantation sur accotements ou sur trottoirs	17
II.5 Caractéristiques du matériel d'éclairage public autonome	18
II.5.1 Généralités sur le matériel d'éclairage public	18
II.5.2 Choix des équipements.....	21
II.6 Les modules photovoltaïques pour les éclairages publics	23
II.6.1 La technologies photovoltaïques dans les éclairages	23
II.6.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	24
II.7 Généralités sur les batteries solaires utilisées pour le stockage d'énergie dans l'éclairage public	25
II.7.1 Types de batteries	25
II.7.2 Capacité des batteries solaires	27
II.7.3 Autodécharge	27
II.7.4 Profondeur de décharge.....	27
II.7.5 Résistance interne.....	28
II.7.6 L'espérance de vie.....	28
II.8 Régulateur des systèmes d'éclairages à LED	28
II.9 Les convertisseurs utilisés dans les systèmes à d'éclairage à LED	29
II.10 La gestion d'éclairage public	29
II.10.1 Equipement de communication dans un système énergétique	29
II.10.2 La gestion d'éclairage public	29
II.11 Conclusion	31

Chapitre III : Etudes expérimentale chez INDIGO ENERGIE Algérie

III.1 Introduction	32
III.2 Etude expérimentale pour comprendre le principe de fonctionnement d'une LED ...	32
III.2.1 Principe de fonctionnement d'une LED froide	32
III.2.2 Essai sur la LED froide	33
III.3 Etude expérimentale sur la carte à LED allemand.....	36

Sommaire

III.3.1	Caractéristique physique d'une carte à LED Allemand.....	36
III.3.2	Système de protection de la carte.....	36
III.3.3	Essai sur la carte à LED froide.....	36
III.4	Etude expérimentale sur le luminaire INDIGO 3 par exemple	38
III.4.1	Essai sur luminaire INDIGO 3.....	38
III.4	Les avantages et les inconvénients des LEDs froide	40
III.5	Etude expérimentale sur le Redresseur ELN-60 pour comprendre le principe d'utilisation.....	40
III.5.1	Le principe de fonctionnement d'un redresseur.....	40
III.5.2	Caractéristiques physique et technique d'un redresseur AC/DC.....	40
III.5.3	Présentation du banc d'essais.....	41
III.5.4	Les avantages et les inconvénients de redresseur ELN-60	43
III.6	Les avantages et les inconvénients de redresseur ELN-60	43
III.6	Etude expérimentale pour comprendre le principe d'utilisation et de calculer les pertes dans le Hacheur LDD-700W	43
III.6.1	Caractéristiques technique et physique de convertisseur DC/DC qu'on va utiliser dans la manipulation	43
III.6.2	Manipulation sur un luminaire avec son hacheur LDD-700.....	43
III.6.3	Les avantages et les inconvénients d'un hacheur.....	45
III.7	Etude sur la technologie batterie Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4).....	46
III.7.1	Description d'un accumulateur :	46
III.7.2	Principe de fonctionnement d'une batterie lithium-ion :	46
III.7.3	Sécurisation des cellules par le BMS (Battery Management System).....	47
III.8	Etude expérimentale sur la décharge d'une batterie	47
III.8.1	Caractéristique de la batterie lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4)	47
III.8.2	Essai sur la batterie	48
III.9	Etude expérimentale sur la charge d'une batterie.....	50
III.9.1	Principe de fonctionnement	50
III.9.2	Essai sur la batterie	51
III.10	Conclusion	54

Chapitre VI : Etude sur l'éclairage public autonome

IV.1. Introduction.....	55
IV.2. Dimensionnement de l'éclairage public solaire a LED.....	55
IV.2.1. Dimensionnement des panneaux photovoltaïques.....	55
IV.2.2 Dimensionnement des batteries.....	56
IV.2.3 Dimensionnement du régulateur victron.....	58
IV.2.4 Dimensionnement des câbles.....	59
IV.3. Installation d'éclairage public solaire à LED.....	60
IV.3.1 Schémas de câblage éclairage public solaire à LED.....	60
IV.3.2 La réalisation d'un éclairage public solaire à LED.....	61
IV.4 Technologie photovoltaïque.....	62
IV.4.1 Les principaux facteurs influençant la production d'énergie électrique avec un panneau solaire.....	62
IV.4.2 Installation de panneau.....	65
IV.5. Technologie des régulateurs.....	65
IV.5.1 Régulateur de charge solaire victron.....	65
IV.6. La technologie des batteries.....	67
IV.6.1 Installions des éléments de la batterie Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4).....	67
IV.7. Gestion d'éclairage public.....	68
IV.7. 1 Présentation, batterie monitor série BMV-702.....	68
IV.8. La technologie des LEDs.....	69
IV.8.1 Etude comparative entre les luminaires à LED d'INDIOGO et des luminaires classiques.....	69
IV.9. Conclusion.....	73

Chapitre V : étude photométrique par le logiciel DIALUX

V.1 Introduction.....	75
-----------------------	----

Sommaire

V.2 Les classes ME.....	75
V.3 Définition des paramètres de vérification de la classe ME.....	75
V.3.1 La luminance moyenne (L_{min}).....	75
V.3.2 Le facteur d'uniformité générale de luminance (U_0).....	75
V.3.3 Le facteur d'uniformité longitudinale de luminance (U_1).....	75
V.3.3 Le taux d'éblouissement (TI).....	76
V.3.3 Le rapport de contiguïté ou d'éclairage des abords (SR).....	76
Projet 1	
V.4 Besoin en éclairage public	76
V.5 Choix de luminaires.....	77
V.6 Paramètres d'entrée sur DIALUX.....	77
V.7 Résultats de l'étude par DIALUX.....	78
Projet 2	
V.8 Besoin en éclairage public.....	80
V.9 Choix de luminaires.....	81
V.10 Paramètres d'entré sur DIALUX.....	82
V.11 Résultats de l'étude par DIALUX.....	83
V.12 Conclusion.....	85
Conclusion générale.....	86
Référence bibliographique.....	87

Liste des abréviations

Liste des abréviations

Liste des abréviations

Abréviation	Signification	Traduction
LED	Light Emitting Diode	Diode Electroluminescence
(IRC)	Indice de rendu de couleur	/
STC	standard test condition	les conditions d'essai standard
UV	ultra-violet	/
LiFePO4	lithium Ferro-Phosphate	/
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	/
AGM	Absorbed Glass Mat	Tapis de verre absorbé
Gel	électrolyte gélifié	/
SONELGAZ	Société nationale de l'électricité et du gaz	/
GBT	Générateur à basse tension	/
SoH	State of Health	Etat de Santé
SoC	State of Charge	Etat de charge
DoD	Depth of Discharge	Profondeur de décharge
BMS	Battery Management System	Système de supervision de batterie

Liste des abréviations

GSM	Global System for Mobile	Système global pour mobile
UMTS	Universal mobile telecommunications system	Système de télécommunication mobile universel

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Type de luminaire INDIGO.....	6
Tableau I.2 : Les configurations de solution photovoltaïque.....	11
Tableau II.1 : Type des batteries solaires.....	26
Tableau III.1 : les résultats d'un essai sur la LED froide.....	34
Tableau III.2 : les résultats d'un essai sur la carte à LED froide.....	37
Tableau III.3 : Les résultats de l'essai sur l'INDIGO 3.....	39
Tableau III.4 : Les avantages et les inconvénients des LEDs froide.....	40
Tableau III.5 : les résultats obtenus à partir de l'essai sur le redresseur.....	42
Tableau III.6 : Les avantages et les inconvénients de redresseur ELN-60.....	43
Tableau III.7 : Les résultats obtenu à partir de l'essai sur le hacheur.....	44
Tableau III.8 : Les avantages et les inconvénients de de hacheur LDD-700.....	45
Tableau III.9 : les résultats obtenu à partir de première essai sur la décharge de la batterie.....	48
Tableau III.10 : les résultats obtenu à partir de deuxième essai sur la décharge de la batterie.....	48
Tableau III.11 : Les résultats obtenu à partir d'essai sur la charge d'une batterie.....	53
Tableau III.12 : Les avantages et les inconvénients de la batterie lithium-ion.....	54
Tableau IV.1 : Caractéristique du panneau ENG 80-100W mono.....	55
Tableau IV.2 : Caractéristiques d'une batterie lithium-ion.....	57
Tableau IV.3 : Caractéristiques d'un régulateur victron.....	58
Tableau IV.4 :Les résultats obtenus à partir de l'essai sur le color contrôle.....	67
Tableau IV.5 : la facture d'un éclairage public de 250 w annuel.....	70
Tableau IV.6 : la facture d'un éclairage public de 120 w annuel.....	70
Tableau IV.7 : la facture d'un éclairage public de 150 w annuel.....	71
Tableau IV.8 : la facture d'un éclairage public de 60 w annuel.....	71

Liste des tableaux

Tableau VI.9 : le CO₂ non rejeté dans l'atmosphère.....72

Tableau V.1 : Caractéristiques des deux types de lampes.....77

Tableau V.2 : Caractéristiques des deux types de lampes.....81

Liste des figures

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique d'INDIGO ENERGIE Algérie.....	3
Figure I.2 : Organigramme d'INDIGO ENERGIE Algérie.....	4
Figure I.3: LED Low-Power.....	5
Figure I.4 : Carte électronique - 24 LED.....	5
Figure I.5 : Les types d'INDIGO pour alimentation solaire.....	5
Figure I.6 : LED froides – Low Power pour alimentation solaire.....	6
Figure I.7 : Différents LED mid– Power pour alimentation réseau ou solaire.....	6
Figure I.8 : Luminaire à LED-Projecteurs.....	7
Figure I.9 : Luminaire à LED-Plafonnier pour usines et entrepôts.....	7
Figure I.10 : exemple des Luminaire à LED installées sur le toit des usines et des entrepôts.....	8
Figure I.11 : La photo montre la qualité de l'éclairage de l'INDIGO-9, en premier plan, pour une consommation de 36W, et la comparaison avec une lampe sodium, en deuxième plan, de 250W.....	9
Figure I.12 : Les différentes formes d'installation des panneaux solaires proposés par INDIGO ENERGIE Algérie.....	10
Figure I.13 : systèmes autoconsommation.....	10
Figure II.1 : Spectre solaire.....	13
Figure II.2 : Les différentes grandeurs photométrie.....	14
Figure II.3 : Architecture implantation unilatérale.....	16
Figure II.4 : Architecture implantation bilatérale vis-à-vis.....	17
Figure II.5 : Architecture implantation axiale sur terre-plein central.....	17

Liste des figures

Figure II.6 : Architecture implantation sur accotements.....	18
Figure II.7 : Les composants d'éclairage public autonome.....	18
Figure II.8 : Optique asymétrique spéciale pour l'éclairage public.....	20
Figure II.9 : câble électrique.....	21
Figure II.10 : composition d'un module photovoltaïque.....	23
Figure II.11 : connexion des cellules photovoltaïque.....	23
Figure II.12 : Les différentes technologies modules photovoltaïques.....	24
Figure II.13 : cellules photovoltaïque.....	24
Figure II.14 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	25
Figure II.15 : Color Control GX.....	29
Figure II.16 : le système de communication pour avoir des paramètres énergétique.....	30
Figure III.1 : Schéma explicative de la conductivité des matériaux.....	32
Figure III.2 : Principe de semi-conducteur p-n.....	33
Figure III.3 : la LED Allemand et Banc d'essai réalisé.....	33
Figure III.4 : Schéma d'alimentation d'une LED allemand.....	34
Figure III.5 : La caractéristique $I=f(V)$ lors de l'essai sur la LED froide.....	34
Figure III.6 : schéma électronique de la carte à LED froide (4S*6P).....	36
Figure III.7 : Banc d'essai réalisé d'une carte à LED.....	37
Figure III.8 : Schéma de câblage pour alimenter une carte à LED froide.....	37
Figure III.9 : $I=f(V)$ qui présente les caractéristiques typique d'une carte à LED froide.....	37
Figure III.10 : Banc d'essai réalisé sur le luminaire INDIGO 3.....	38
Figure III.11 : Schéma de câblage pour alimenter un luminaire LED INDIGO 3.....	38
Figure III.12 : $I=f(V)$ qui présente les caractéristiques typique d'un luminaire INDIGO 3...	39

Liste des figures

Figure III.13 : redresseur de type ELN 60.....	41
Figure III.14 : Banc d'essai réalisé d'un redresseur ELN 60.....	41
Figure III.15 : Schéma de câblage d'essai sur le redresseur.....	42
Figure III.16 : $I=f(v)$ qui représente la caractéristique d'un redresseur ELN-60 à la sortie....	42
Figure III.17 : Le hacheur LDD-700W.....	43
Figure III.18 : Schéma de câblage d'essai sur le convertisseur DC/DC.....	43
Figure III.19 : Banc d'essai réalisé sur le hacheur.....	44
Figure III.20 : Niveau de la tension a la sortie et l'entrée de LDD-700.....	45
Figure III.21 : Principe de fonctionnement d'une cellule lithium-ion en décharge.....	46
Figure III.22 : Banc d'essai réalisé sur la décharge d'une batterie.....	48
Figure III.23 : Schéma de câblage de la décharge d'une batterie lithium-ion.....	48
Figure III.24 : la caractéristique $U=f(t)$ de la batterie pendant la décharge.....	49
Figure III.25 : Principe de fonctionnement d'une cellule lithium-ion à la charge.....	50
Figure III.26 : Banc d'essai réalisé sur la charge d'une batterie.....	51
Figure III.27 : Schéma de câblage de la décharge d'une batterie lithium-ion.....	51
Figure III.28 : Courbes de courant lors d'une charge pour une batterie lithium-ion.....	52
Figure III.29 : Courbes de tension lors d'une charge pour une batterie lithium-ion.....	53
Figure IV.1 : Éclairage public solaire à LED (installation W. Béjaïa, Juillet 2016).....	60
Figure IV.2 Réalisation d'un éclairage public solaire à LED.....	61
Figure IV.3 Schémas de câblage pour l'Installation de l'éclairage public solaire à LED.....	62
Figure IV.4 : effet de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$	63
Figure IV.5 effet de la température sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$	64
Figure IV.6 : régulateur victron connecté au PC.....	65

Liste des figures

Figure IV.7 : Schéma de câblage d'essai sur le redresseur.....	66
FigureIV.8 : Banc d'essai réalisé sur le régulateur.....	66
Figure IV.9 influence de la température sur la capacité de la batterie Lithium Ferro- Phosphate (LiFePO4).....	67
FigureIV.10 : Batterie monitor série BMV-702.....	68
Figure IV.11 : Shunt BMV de 500 A/50mV.....	68
Figure IV.12 : schémas de câblage Color Control.....	69
Figure IV.13 : tests effectués avec Color Control série BMV-702.....	69
FigureV.1 La Rue 1 à étudié.....	76
Figure V.2 Luminaire réel de type IE-L300-60 – luminaire à LED 60W.....	77
Figure V.3 Type de Luminaire à utiliser.....	77
FigureV.4 Route utilisée.....	78
Figure V.5 Paramètres d'implantation des candélabres de la voie.....	78
FigureV.6 Type d'implantation d'un côté, en bas.....	78
Figure V.7 Les résultats photométriques du projet 1.....	80
Figure V.8 La rue 2 à étudier.....	81
Figure V.9 Luminaire réel de typeIE-L300-120 – luminaire à LED 120W.....	81
FigureV.10 Type de Luminaire à utiliser.....	82
Figure V.11 La route utilisée dans le Projet 2.....	82
Figure V.12 Paramètres d'implantation des candélabres de la voie.....	83
Figure V.13 Type d'implantation sur séparateur.....	83
Figure 14 Résultats photométriques avec DIALUX.....	85

Introduction générale

Introduction générale

L'éclairage des voies publiques est essentiel car il facilite la circulation de nuit en assurant aussi bien la sécurité que le confort des usagers. En effet, il permet la réduction des risques d'accident et de l'insécurité dans les zones sombres. Toutefois, l'éclairage public ne se fait pas de manière aléatoire. Il doit remplir des conditions qui assureront une visibilité convenable et un confort visuel des usagers. C'est à cet effet qu'il est nécessaire de réaliser une étude photométrique pour s'assurer que ces conditions, définies par des normes, sont remplies. Il s'agira ainsi, de vérifier la concordance des paramètres photométriques, induits par les caractéristiques du projet, avec les paramètres normalisés. [5]

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays émergents auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

L'efficacité énergétique désigne le fait d'utiliser moins d'énergie qu'avant pour fournir des services énergétiques équivalents. Avec moins d'énergie, nous réduisons du même coup l'émission de gaz à effet de serre, protégeons ainsi l'environnement et la sécurité de l'approvisionnement en énergie s'en trouve également renforcée.

La problématique actuelle en Algérie est dans la réduction de la facture énergétique, en utilisant les dernières technologies apportées par les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Pour les communes, un axe majeur consiste à faire évoluer son éclairage public.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres.

- Présentation de l'entreprise INDIGO ENERGIE Algérie.
- Généralités sur le matériel utilisé dans les éclairages publics.
- Etudes expérimentale des matériels utilisés dans les éclairages.
- Etude sur l'éclairage public autonome.
- Etude photométrique sur l'ensemble routier avec DIALUX.

Chapitre I

Présentation d'INDIGO ENERGIE
Algérie

I.1 Introduction

Les luminaires à LED sont une nouvelle génération d'éclairage qui a un rendement énergétique élevé et une durée de vie très importante, Les composants LED deviennent le choix meilleur pour l'éclairage de rue, et les situations d'éclairage public quand ils sont alimentés par l'énergie photovoltaïque, INDIGO ENERGIE Algérie est une entreprise qui s'intéresse à cette dernière technologie dans le secteur d'activité d'énergies renouvelables.

C'est dans ce contexte que s'insère notre démarche qui vise à présenter, en premier lieu, l'entreprise INDIGO ENERGIE Algérie et leurs activités; ensuite nous allons citer les différentes technologies des luminaires à LED et les différents équipements pour les systèmes autoconsommation de cette entreprise. Enfin, nous concluons par les configurations de solutions photovoltaïques disponibles.

I.2 Présentation de l'entreprise

INDIGO ENERGIE Algérie est une société de fabrication d'équipements d'énergie qui a été créée en 2016, qui répondent aux exigences de la demande des collectivités et des investisseurs privés, dans le domaine de l'éclairage public à basse consommation, et de l'habitat entièrement ou partiellement autonome, à un meilleur coût.

La société conçoit ses produits avec des partenaires qui maîtrisent des technologies les plus innovantes, qui respectent les critères de qualité et d'environnement au plus haut standard. [1]

I.2.1 Situation géographique

INDIGO ENERGIE Algérie se situe dans la ville de Tazmalt à 85 km, côté Ouest, de chef-lieu de la wilaya de Bejaia, bénéficiant d'une situation géographique stratégique et idéale pour tous ses échanges commerciaux.



Figure I.1 Situation géographique d'INDIGO ENERGIE Algérie [2]

I.2.2 Activités D'INDIGO ENERGIE Algérie

L'entreprise, avec son staff technique et commercial, est au cœur des projets énergétiques de ces dernières années, servant à analyser et répondre aux besoins exprimés et trouver des solutions afin de développer ses domaines d'activités, ces dernières sont :

1. Une analyse complète pour les clients, pour cerner les besoins en énergie électrique et ses objectifs financiers, notamment la réduction de leur facture énergétique, ainsi que la sécurité de l'alimentation en énergie de son activité.
2. Un bilan énergétique sera réalisé par des ingénieurs expérimentés, et différentes solutions pourront être proposées avec leurs équipements éprouvés et compatibles aux données du projet.
3. Assure l'installation et la mise en route de la solution photovoltaïque, et le service après-vente.
4. Fabrication des systèmes d'éclairage à LED basse consommation grâce à plusieurs innovations technologiques majeures dans l'efficacité énergétique :
 - ✓ Les modules de LED à faible consommation d'énergie, par transfert de brevet d'un partenaire allemand.
 - ✓ Un système optique : pour améliorer la qualité d'éclairage.
 - ✓ Les batteries lithium : pour stocker l'énergie de manière fiable et durable. [1]

I.3 Différentes organes constituants INDIGO ENERGIE Algérie

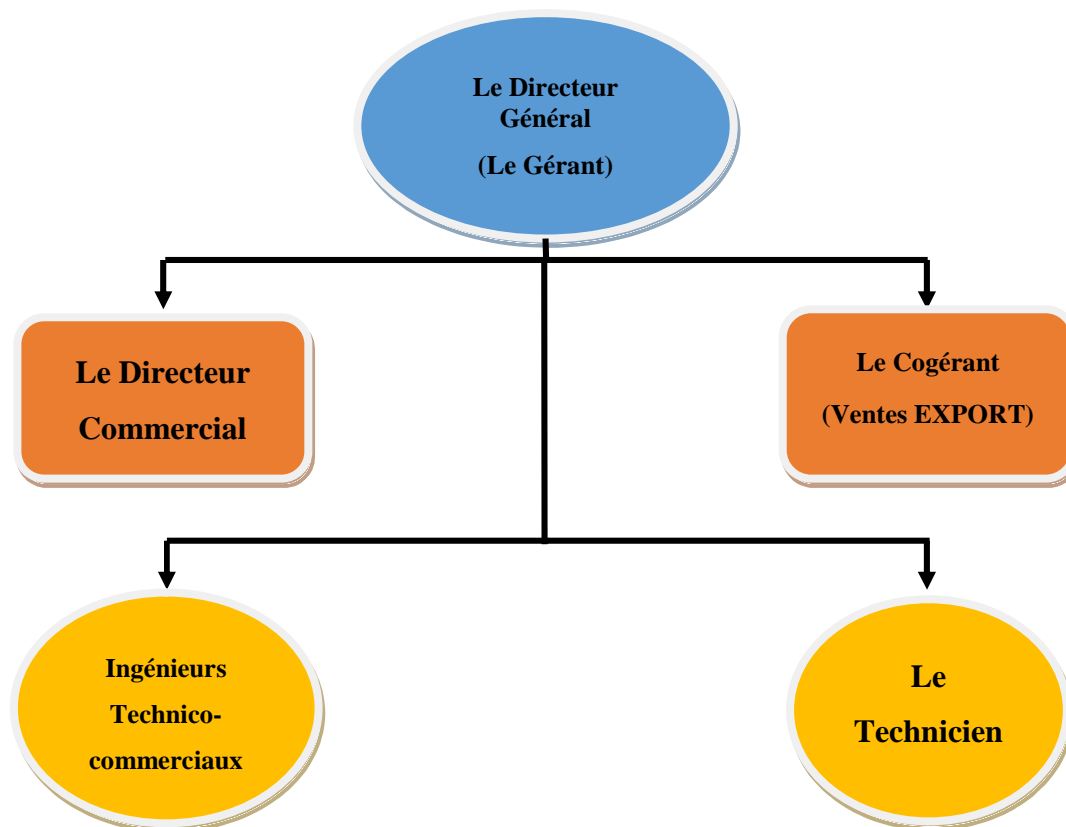


Figure I.2 Organigramme d'INDIGO ENERGIE Algérie [1]

I.4 Types de luminaire D'INDIGO ENERGIE Algérie

I.4.1 Description de luminaire à LED

La lampe à diode électroluminescente, ou lampe à LED (abréviation de l'anglais *Light-Emitting Diode*), lampe à LED au Québec (abrégié du français), est un composant semi-conducteur électronique qui utilise des diodes électroluminescentes pour l'éclairage. [1]

La LED apparait en 1962. Au départ, les LED sont réservées aux voyants d'appareils électroniques (témoin de veille dans l'électroménager, voyant de fonctionnement pour les appareils électriques, etc.) puis à la signalisation routière et urbaine (panneaux de signalisation, feux tricolores...etc.). [1]

✓ Constitution d'un module de LED

Un module de LED est constitué par un ensemble de LED Low-Power. Afin de produire un module, on doit assembler ces minuscules LED sur une carte électronique (Figure I.3), 4 en série et 6 en parallèle, total de 24 LED comme il est illustré dans la figure (I.4).

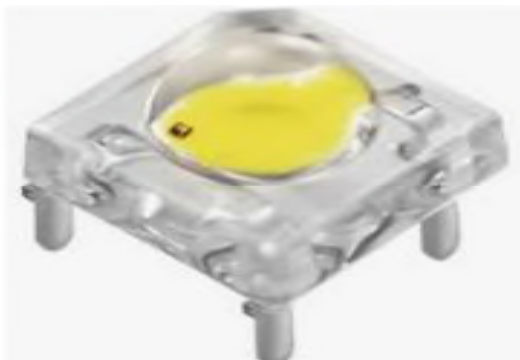


Figure I.3 LED Low-Power [1]



Figure I.4 Carte électronique - 24 LED [1]

I.4.2 Les différentes technologies lumineuses à LED chez INDIGO ENERGIE Algérie

I.4.2.1 Luminaire à LED- éclairage public

INDIGO ENERGIE Algérie fabrique trois types luminaires à LED avec alimentation par l'énergie solaire de très forte efficacité lumineuse qui dépasse 150 Lm/W, nous permettant ainsi de réduire du nombre de panneaux solaires, et de la capacité des batteries. Ces lampadaires qui sont désignés en Allemagne, fabriqués en Algérie sont représentés sur la (figure I.5).



Figure I.5 Les types d'INDIGO pour alimentation solaire [1]

Tableau I.1 Type de luminaire INDIGO

Luminaire	Consommation	Applications
INDIGO – 3	6 à 12 W	éclairage public en zones piétonnes, parcs et jardins, et en zone industrielle ou parking privés ou commerciaux, à une Hauteur: 3,5 à 5,5 m
INDIGO – 6	12 à 24 W	éclairage public en zones piétonnes, rues ou route, et en zone industrielle ou parking privés ou commerciaux, à une Hauteur: 5 à 7 m.
INDIGO – 9	18 à 36 W	éclairage public en zones urbaines pour routes, et en zone industrielle ou parking privés ou commerciaux

➤ **L'éclairage LED froides – Low Power pour alimentation solaire**



Figure I.6 LED froides – Low Power pour alimentation solaire [1]

L'éclairage LED mid– Power à trois puissances différentes 60 W, 120W ,180 W avec une efficacité de 120 Lm/W au niveau de la lampe pour une alimentation réseau ou solaire.



60 W - 7.200 Lm

100 W – 12.000 Lm

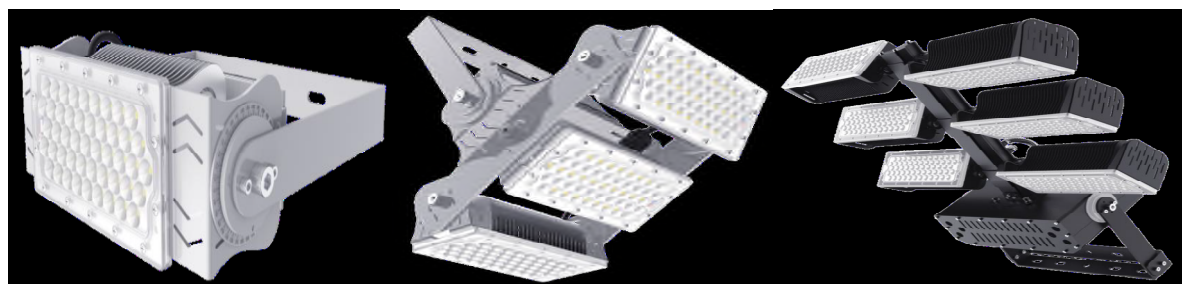
180 W - 21.600 L

Figure I.7 Différents LED mid– Power pour alimentation réseau ou solaire [1]

I.4.2.2 Luminaire à LED-Projecteurs

Projecteur à LED d'une très grande efficacité qui dépasse 160 Lm/W au niveau de la lampe, chacun des modules peut être tourné à $\pm 30^\circ$ pour ajuster le faisceau lumineux à la surface à éclairer.

Disponible trois types de Projecteur sous différentes formes comme montré sur la **figure I.8** :



100 W – 16.000 Lm

180 W – 28.800 Lm.

1200 W – 198.000 Lm

Figure I.8 Luminaire à LED-Projecteurs [1]

I.4.2.3 Luminaire à LED-Plafonnier pour usines et entrepôts

Luminaire à LED-Plafonnier émet une grande quantité de lumière et sont utilisés dans des usines et entrepôts, avec une efficacité énergétique qui dépasse 140 Lm/W.

Il y a deux types disponibles présentés dans la **figure I.9**:



300 W – 43.500 Lm

180 W - 21.600 Lm

Figure I.9 Luminaire à LED-Plafonnier pour usines et entrepôts [1]



Figure I.10 exemple des Luminaire à LED installées sur le toit des usines et des entrepôts [1]

I.4.3 Les différents types d'alimentation de l'éclairage public

I.4.3.1 Luminaire à LED-alimentation par le réseau

INDIGO ENERGIE Algérie fabrique une gamme de luminaires raccordés au réseau, grâce à un transfert technologie avec un fabricant de module de LED à très forte efficacité énergétique, ce sont des luminaires à LED pour éclairage public. [1]

I.4.3.2 Luminaire à LED-alimentation par l'énergie solaire

INDIGO ENERGIE Algérie a mis en œuvre tout son savoir-faire dans la conception, la fabrication, le dimensionnement, la gestion et le stockage d'énergie des Luminaire à LED alimentation par l'énergie solaire afin de réaliser une installation d'éclairage public autonome. [1]

L'éclairage solaire est constitué de trois éléments : une batterie, un capteur photovoltaïque et une source d'éclairage qui sont généralement des LED, quatrième : une électronique de gestion de l'énergie (régulateur de charge).

Avantage majeur des LED pour une alimentation solaire est la réduction du nombre de panneaux solaires, et de la capacité des batteries. [1]

I.4.3.3 Luminaire à LED-alimentation par solaire centralisé

Il y a un exemple d'installation solaire centralisée pour profiter de cette gamme de luminaire à LED froides. Réalisation près de Tipaza en 2018.

1. Une centrale solaire permet de stocker l'énergie dans une grande batterie centralisée.
2. L'énergie est envoyée dans le réseau électrique interne du site. [1]



Figure I.11 La photo montre la qualité de l'éclairage de l'INDIGO-9, en premier plan, pour une consommation de 36W, et la comparaison avec une lampe sodium, en deuxième plan, de 250W. [1]

I.5 Installation des panneaux solaire chez INDIGO ENERGIE Algérie

INDIGO ENERGIE Algérie assure la conception, la coordination et le suivi de mise en œuvre et d'installation pour toutes les réalisations de panneaux solaires, panneaux photovoltaïques.

L'intégration des capteurs solaires dans l'habitat doit être étudiée précisément, tant pour assurer une bonne efficacité énergétique des équipements que pour obtenir une excellente qualité

Différentes formules d'installations seront analysés pour optimiser le projet. [1]



Sur une toiture plate

Sur toiture inclinée

En pose au sol

Figure I.12 Les différentes formes d'installation des panneaux solaires proposés par INDIGO ENERGIE Algérie [1]

I.6 Les différents équipements pour les systèmes autoconsommation chez INDIGO ENERGIE Algérie

L'autoconsommation permet de produire une partie de l'électricité qui doit être consommée localement. Cela permet de réduire la facture du réseau public, et être moins dépendant des coupures de réseau. [1]

INDIGO ENERGIE Algérie réalise des solutions qui gèrent les sources d'énergie (solaire et réseau), stocke l'énergie, et la distribue au bâtiment. [1]

Les systèmes autoconsommation sont constitués de deux équipements :

- ✓ Kit autoconsommation :
 - gamme de produits de 1 à 5 KVA pour application résidentielles,
 - gamme de 10 à 250 KVA pour les sites industriels et commerciaux. [1]
- ✓ Onduleurs : Les onduleurs-chargeur sont au cœur de la gestion de tous nos systèmes autoconsommation, et optimisent le rendement énergétique et financier. [1]

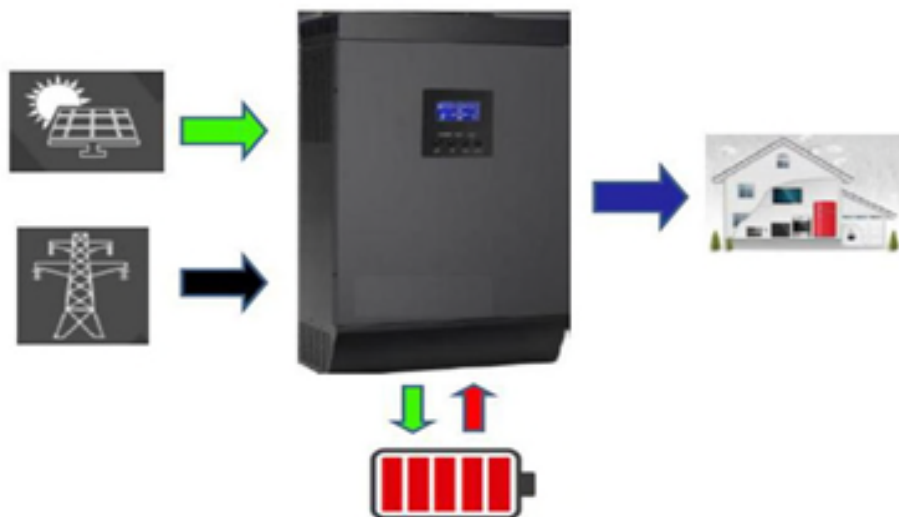


Figure I.13 systèmes autoconsommation [1]

Les configurations de solutions photovoltaïques disponibles chez INDIGO ENERGIE Algérie :

Tableau I.2 : Les configurations de solution photovoltaïque.

Configuration	La zone	Par charpente			Par arceau		
		Nombre de luminaire	La hauteur (m)	La luminosité (LUX)	Nombre de luminaire	La hauteur (m)	La luminosité (LUX)
1	A forte luminosité	24	8	17.1	3	24	17.1
2	A luminosité moyenne	16	8	11.6	2	24	11.6
3	A luminosité réduite	16	8	9.49	2	24	9.49

I.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement l'entreprise INDIGOENERGIE Algérie et ces principales activités ainsi que les équipements utilisés et les techniques qu'elle peut éventuellement adapter pour la réalisation de ses projets.

Nous avons présenté les stratégies et les solutions que l'entreprise propose à ses clients dans le domaine de l'éclairage public dans le but d'améliorer et de promouvoir les énergies renouvelables.

Chapitre II

**Généralités sur le matériel utilisé dans les
éclairages publics**

II.1 Introduction

Le développement des énergies renouvelable c'est un synonyme d'indépendance énergétique qui ne peut être que positive au développement planétaire en répondant aux préoccupations de développement durable. L'utilisation des panneaux solaire et des lampes à LED permet de réduire la consommation d'électricité de l'éclairage public.

Dans ce chapitre, nous présentons les généralités sur des lampes à LED et l'ensemble des équipements d'une installation d'éclairage public pour avoir un système durables et efficace qui sera basé sur les nouvelles technologies intelligentes.

II.2 Le concept de la photométrie

La photométrie est une partie de la physique qui traite de la Mesure des grandeurs relatives aux rayonnements électromagnétiques appartenant au spectre visible.

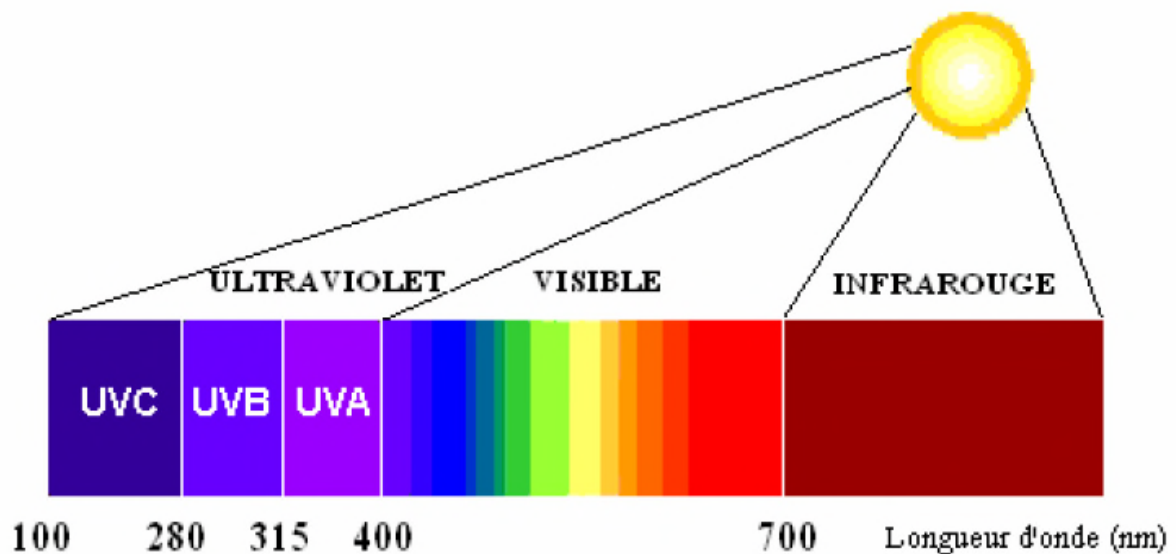


Figure II.1 Spectre solaire. [9]

II.3 Définition de quelques grandeurs photométriques

Il est nécessaire de définir quelques concepts d'éclairage afin de mieux comprendre et aborder aisément le sujet de mémoire soumis à notre étude. Les grandeurs photométriques sont: Le flux lumineux, l'intensité lumineuse, l'éclairement, la luminance, l'indice de rendu des couleurs (IRC). Elles sont illustrées sur la **figure (II.2)**.

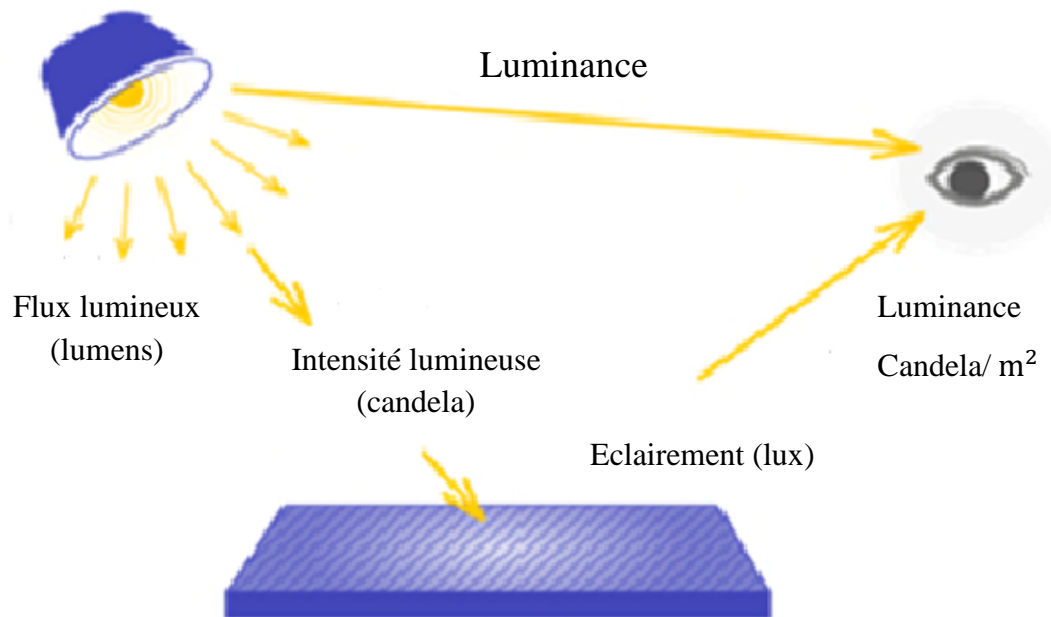


Figure II.2 Les différentes grandeurs photométrie [6]

II.3.1 Le flux lumineux

Le flux lumineux (θ ou F) est la puissance lumineuse émise par une source lumineuse. Il permet de comparer l'efficacité lumineuse des différentes lampes, exprimée en lumens émis par watt de puissance électrique consommée (lm/W). [7]

$$\theta = E.S \quad (\text{II.1})$$

Avec :

θ en Lumen (lm).

S : la surface en m^2 .

E : l'éclairement en lux.

II.3.2 L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse (I) est la quantité de flux lumineux émise dans une direction particulière. [7]

$$I = L.S \quad (\text{II.2})$$

Avec :

I en candelas (cd).

L : la Luminance en cd/m^2 .

S : la surface en m^2 . [7]

II.3.3 L'éclairement

L'éclairement est la quantité de flux lumineux éclairant une surface. La grandeur la plus représentative de la qualité de l'éclairage est la luminance. C'est en effet la lumière réfléchie que perçoit l'œil humain. Cependant celle-ci étant difficilement mesurable, ce sera l'éclairement, représentant la lumière incidente, qui sera dans la pratique considéré. [7]

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

E en lumen par m^2 ou lux.

Φ : le flux lumineux en lumens.

S : la surface en m^2 . [7]

II.3.4 L'efficacité lumineuse

Afin de pouvoir comparer les différents procédés d'éclairage entre eux, on utilise plusieurs caractéristiques des sources lumineuses ; l'efficacité lumineuse est un critère important, mais n'est pas le seul à envisager.

Une lampe quelconque absorbe de l'énergie électrique et restitue de la lumière ; on fait donc le rapport entre le flux lumineux (1) fourni par la source lumineuse et la puissance électrique absorbée, et on obtient un coefficient d'efficacité lumineuse :

$$\text{Coefficient d'efficacité} = \frac{\text{flux lumineux fourni}}{\text{puissance électrique absorbée}} \quad (\text{II.4})$$

Le coefficient d'efficacité lumineuse s'exprime en lumens par watt (lm/W)

Le rendement d'une lampe ou efficacité lumineuse, est ce qui qualifie le rendement d'une source lumineuse avant qu'elle soit placée dans un luminaire.

$$\text{fe ou } \eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

fe ou η en lumens par Watt (lm/W),

Φ : le flux lumineux en lumens.

P : la puissance en Watts. [7]

II.3.5 La luminance

La luminance est l'intensité lumineuse produite (ou réfléchi) par une surface et vue d'une direction donnée

Elle décrit l'effet de la lumière sur l'œil.

$$L = \frac{I}{S} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

L en candelas par m² (cd/m²)

I : Intensité lumineuse en candelas.

S : surface en m². [7]

II.3.6 Indice de rendu de couleur

L'indice de rendu des couleurs (IRC) représente la qualité de la lumière, à savoir sa faculté à rendre fidèlement la vraie nature des couleurs telles qu'on peut les voir sous la lumière naturelle du soleil. Plus cet indice se rapproche de 100, plus la qualité de la lumière est excellente. [5]

II.4 Modes d'implantation des foyers d'éclairage public

Les différentes méthodes d'implantation d'éclairage public sont :

II.4.1 Implantation unilatérale

Tous les foyers sont disposés sur un côté de la chaussée. Ainsi on a une implantation unilatérale à droite ou à gauche. Ce mode est réservé pour les voies à faible circulation et dont la largeur est inférieure ou égale à la hauteur de feu. Toutefois il faut remarquer qu'avec ce type, la luminance du côté opposé est moindre par rapport à celle du côté où sont implantés les supports. [8]

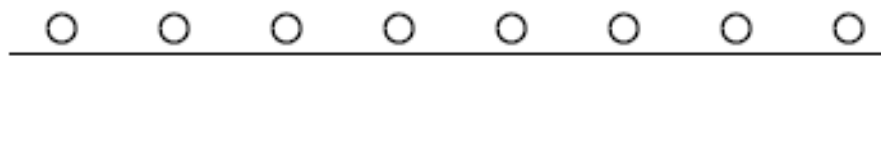


Figure II.3 Architecture implantation unilatérale. [8]

II.4.2 Implantation bilatérale vis-à-vis

Dans cette disposition, les supports sont fixés de part et d'autre de la chaussée et se font face. La lumière n'est pas bien répartie et laisse des zones d'ombre si l'espacement entre foyers dépasse trente mètres. Elle est applicable lorsque la largeur de la chaussée dépasse une fois et demie la hauteur du luminaire. [8]

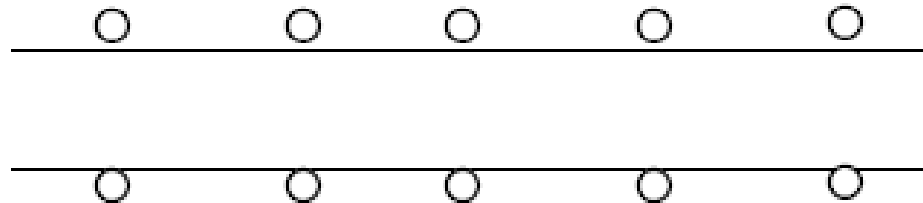


Figure II.4 Architecture implantation bilatérale vis-à-vis. [8]

II.4.3 Implantation axiale sur terre-plein central

Dans la disposition axiale, les foyers sont placés suivant l'axe de la chaussée. Elle est utilisée dans le cas des grandes voies de circulation avec terre-plein central. L'utilisation de ce terre-plein permet d'éclairer chacune des deux chaussées. Ce type d'implantation peut également devenir la seule solution acceptable pour les voies bordées d'arbres. [8]

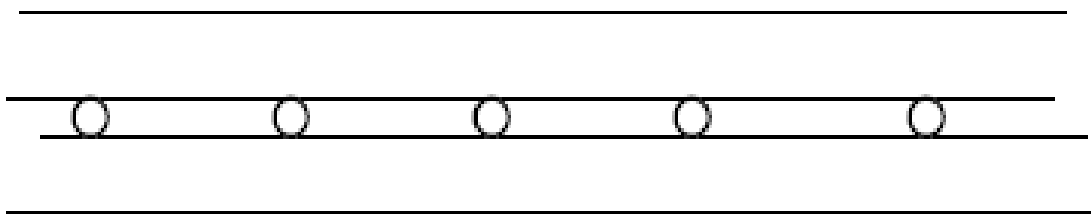


Figure II.5 Architecture implantation axiale sur terre-plein central. [8]

II.4.4 Implantation sur accotements ou sur trottoirs

Cette implantation est plus onéreuse que la précédente car elle exige deux tranchées, deux câbles et deux rangées de candélabres. En revanche, elle permet d'effectuer l'entretien en réduisant la gêne de la circulation, en particulier lorsque les véhicules d'entretien peuvent stationner sur la bande d'arrêt d'urgence. C'est la solution généralement employée pour les autoroutes urbaines. [8]

Il faut signaler que sur les voies ayant de très grandes largeurs, il est possible d'appliquer simultanément l'implantation axiale sur terre-plein central et l'implantation bilatérale sur accotement. [8]

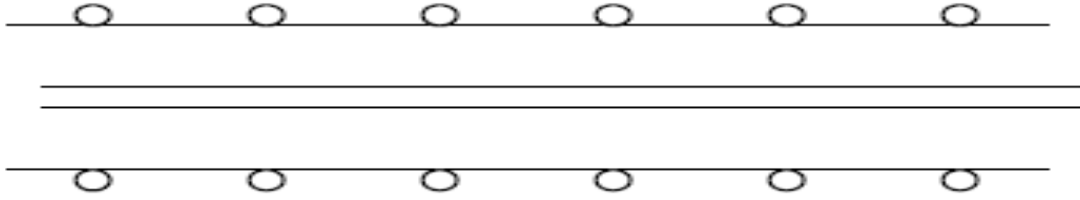


Figure II.6 Architecture implantation sur accotements. [8]

II.5 Caractéristiques du matériel d'éclairage public autonome

II.5.1 Généralités sur le matériel d'éclairage public

Un réseau d'éclairage public se compose en général des équipements suivants:

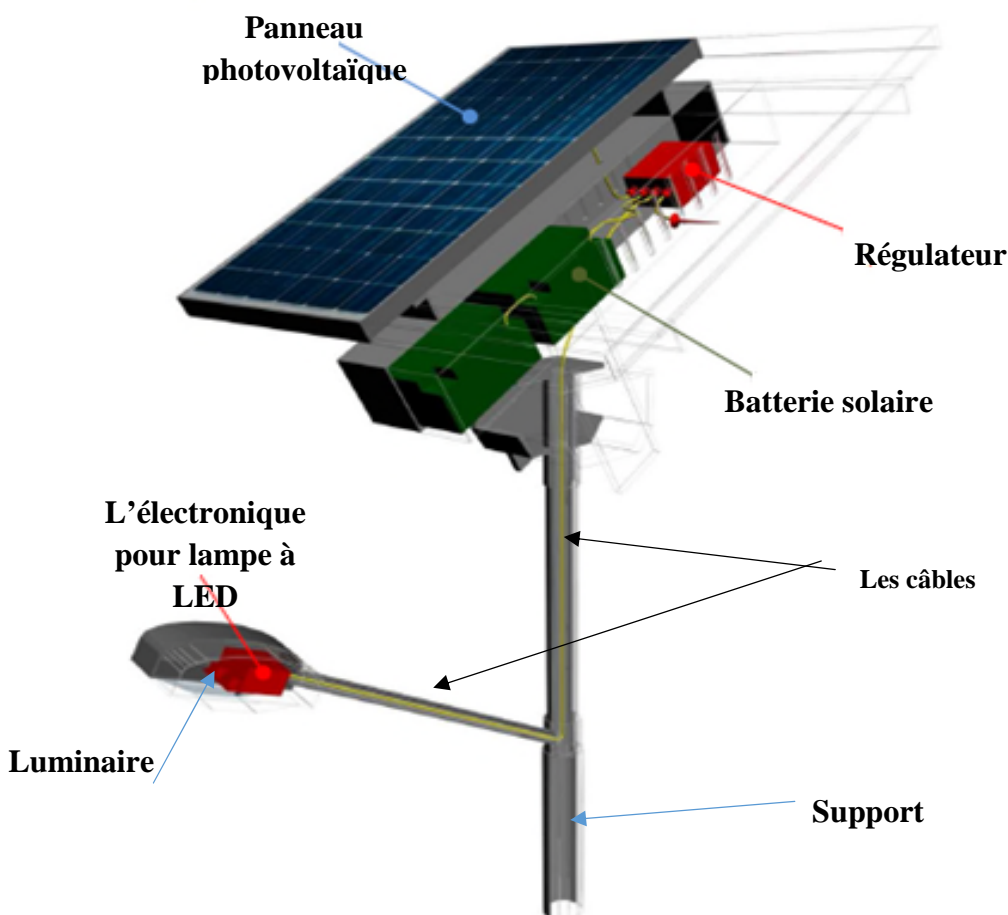


Figure II.7 Les composants d'éclairage public autonome.

II.5.1.1 Panneau solaire

Le panneau solaire à éclairage public transforme les rayonnements solaires en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque produisant un courant électrique continu.

II.5.1.2 Le régulateur

Est un dispositif électrique qui gère le stockage de l'énergie dans les accumulateurs et la distribution vers la charge (c'est à dire qui contrôle la charge et la décharge des accumulateurs). [10]

II.5.1.3 La batterie

La batterie sert à stocker de l'électricité produite par le panneau pendant la journée afin d'alimenter l'éclairage la nuit.

II.5.1.4 La Lampes

Les lampes sont des dispositifs ou des appareils destinés à produire de la lumière. Il existe plusieurs sortes de lampes : à décharge, fluorescentes tubulaires, compactes, à incandescence ; et enfin à LED. [8]

II.5.1.5 Luminaire

Le luminaire est un appareil servant à répartir, à filtrer ou transformer la lumière d'une lampe.

Le luminaire est constitués de:

- ✓ **La lampe** : chaque type de luminaire correspond à un type de lampe bien déterminé, le luminaire peut porter une ou plusieurs lampes.
- ✓ **Les supports de lampes** : quel que soit les conditions d'utilisation, les douilles doivent assurer en permanence le bon positionnement des lampes et l'efficacité des contacts électriques.
- ✓ **Le corps** : il peut être en une seule pièce ou formé d'éléments séparables ou non, ces éléments sont indépendants du système optique.
- ✓ **Le système optique** : il a pour rôle de changer la répartition du flux lumineux émis par la lampe. [8]

Le problème des lampes sodium est autres éclairage avec un gaz : éclaire dans toutes les directions, donc dans des directions non-souhaitées (hors de l'horizon, et on doit utiliser

un réflecteur pour renvoyer la lumière vers le sol, donc des pertes). Le ballast électronique dans le Sodium entraîne des pertes de puissance électrique, et du Cos Phi.

L'avantage des LED sur le Sodium est aussi la directivité du faisceau de lumière uniquement vers la zone à éclairer (pas de pollution lumineuse et même le faisceau n'a pas d'angle supérieur à 120° , et pas de pertes dans le réflecteur).

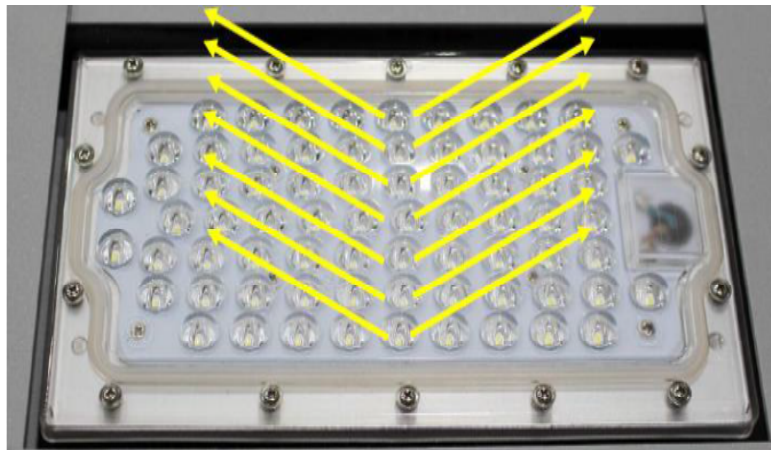


Figure II.8 Optique asymétrique spéciale pour l'éclairage public. [1]

II.5.1.6 Les supports

Ce sont des mâts métalliques qui servent à porter les luminaires à une certaine hauteur (généralement entre 3m et 22m).

Tous les luminaires sont installés sur des supports : mât, candélabre, console. Ces supports doivent répondre à plusieurs contraintes. Il est nécessaire qu'ils soient solides, qu'ils résistent aux efforts dus aux vents, qu'ils résistent également aux chocs dit normaux, aux intempéries et attaques physiques (corrosion). Il faut également qu'ils permettent un entretien aisé et ne contraignent pas la maintenance des luminaires. [11]

II.5.1.7 Les câble

Les câbles sont les éléments qui raccordent les diverses parties de l'installation photovoltaïque en éclairage public entre le module et l'éclairage à LED, il a ainsi la charge de conduire le courant et l'énergie.

Le câble est constitué de plusieurs fils électriques réunis dans une gaine protectrice en plastique comme représente sur la **figure II.19** :

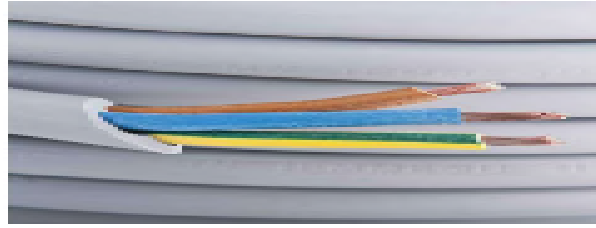


Figure II.9 câble électrique.

II.5.2 Choix des équipements

Les équipements sont choisis à base de plusieurs critères :

II.5.2.1 Choix de panneau

En choisi le panneau on fonction de :

- ✓ La puissance crête
- ✓ Tension à vide
- ✓ Courant de court-circuit
- ✓ Point de fonctionnement optimal
- ✓ Rendement
- ✓ Facteur de forme

II.5.2.2 Choix de Support

La détermination des caractéristiques dimensionnelles permettant le choix des supports sont :

- ✓ charges climatiques (vent, pluie).
- ✓ la hauteur de feu.
- ✓ l'avancée du point lumineux.
- ✓ Le design souhaité.
- ✓ l'angle d'inclinaison de luminaire. [8]

II.5.2.3 Choix de Luminaire

- ✓ Types d'alimentation électrique.
- ✓ Efficacité lumineux de la lampe.
- ✓ La consommation d'énergie.
- ✓ La distribution lumineuse d'un luminaire.
- ✓ Indice de rendu de couleur.
- ✓ le facteur de maintenance d'un luminaire.

- ✓ Les indices de protection d'un luminaire.
- ✓ Poids et dimensionnement d'un luminaire.
- ✓ Espérance de vie.
- ✓ L'utilisation intermittente.
- ✓ Le temps de chauffe.

II.5.2.4 Choix de la Batterie de stockage

- ✓ La performance à basse et haute température.
- ✓ Poids de la batterie.
- ✓ taux d'autodécharge.
- ✓ Capacité de stockage.
- ✓ Résistance interne.
- ✓ Robustesse des batteries a l'environnement.
- ✓ Cycles/Durée de vie.
- ✓ L'état de charge.
- ✓ Profondeur de décharge.
- ✓ Tension à vide.
- ✓ Plage de température.

II.5.2.5 Choix de régulateur

- ✓ Densité énergétique.
- ✓ Auto décharge très faible.
- ✓ Résistance interne.
- ✓ Cycles/Durée de vie.
- ✓ Doit être compatible les batteries cas de d'alimentation solaire.
- ✓ Le choix du câble est primordial pour le bon fonctionnement du système

II.5.2.6 Choix des Câble

- ✓ La tension maximale.
- ✓ La résistance du fil.
- ✓ La distance demandée.
- ✓ La Souplesse.

II.5.2.7 Choix de convertisseur

- ✓ La tension d'entrée.
- ✓ La tension de distribution.
- ✓ La puissance nominale.

- ✓ Le rendement. [13]

II.6 Les modules photovoltaïques pour les éclairages publics

II.6.1 La technologies photovoltaïques dans les éclairages

Un module photovoltaïque est un ensemble de plusieurs cellules photovoltaïques connectées entre elles en série, ou plus rarement en parallèle. [14]

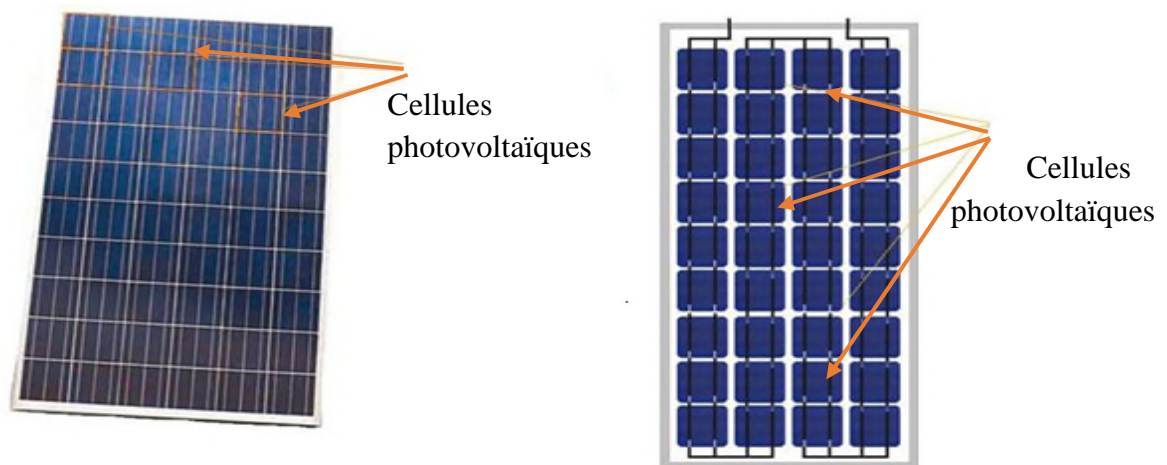


Figure II.10 composition d'un module photovoltaïque. [14]

Toutes les cellules composant un module photovoltaïque doivent être identiques. Les cellules sont soudées deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban. La connexion se fait du contact en face avant (pole négatif) au contact en face arrière (pole positif). Les rubans adhèrent par soudure à la cellule grâce à une lamelle de cuivre étamé. [14]

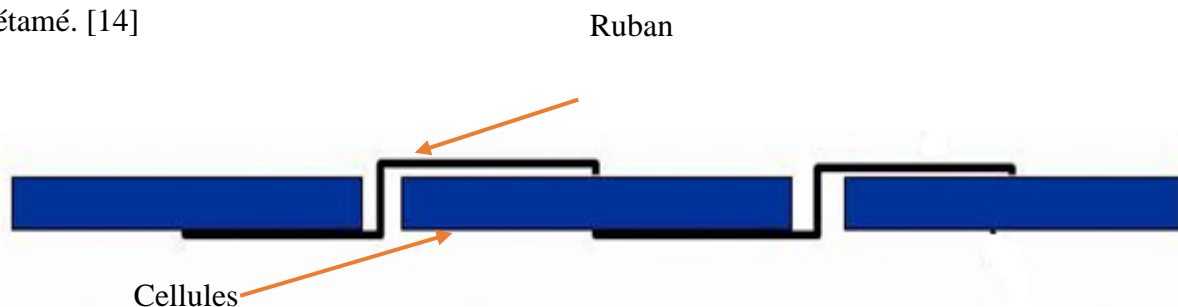


Figure II.11 : connexion des cellules photovoltaïques. [14]

Les principales technologies mis en œuvre dans la filière photovoltaïque sont des modules :

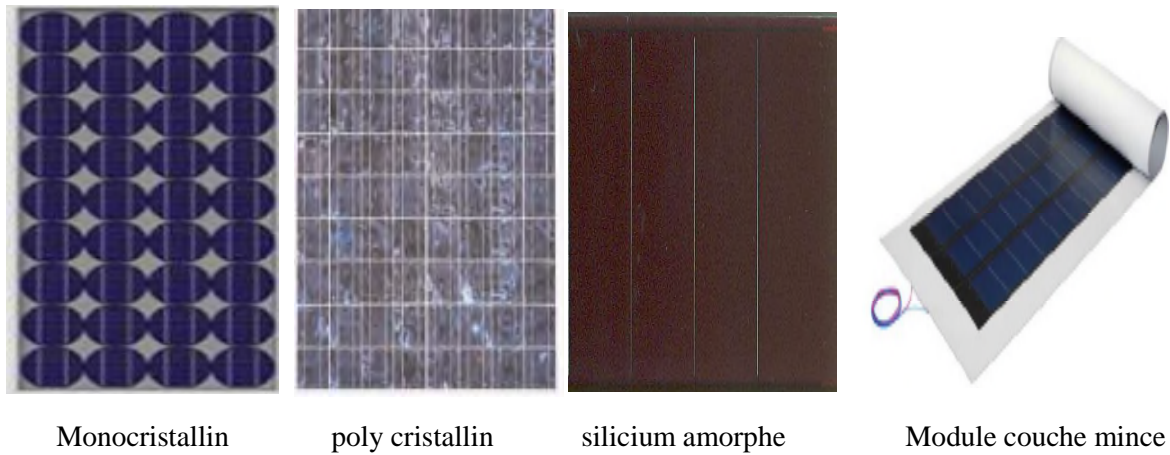


Figure II.12 : Les différentes technologies modules photovoltaïques. [10]

II.6.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. [15]

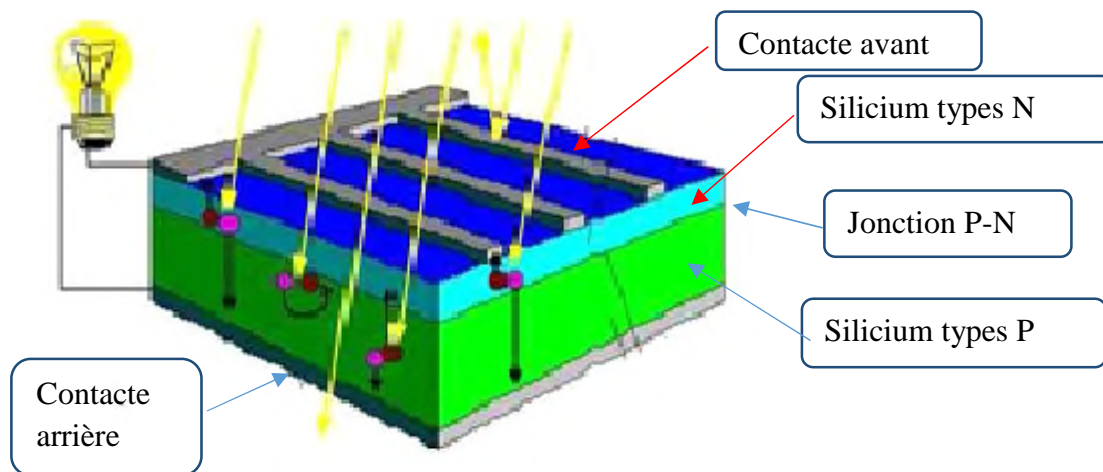


Figure II.13 Cellules photovoltaïque [15]

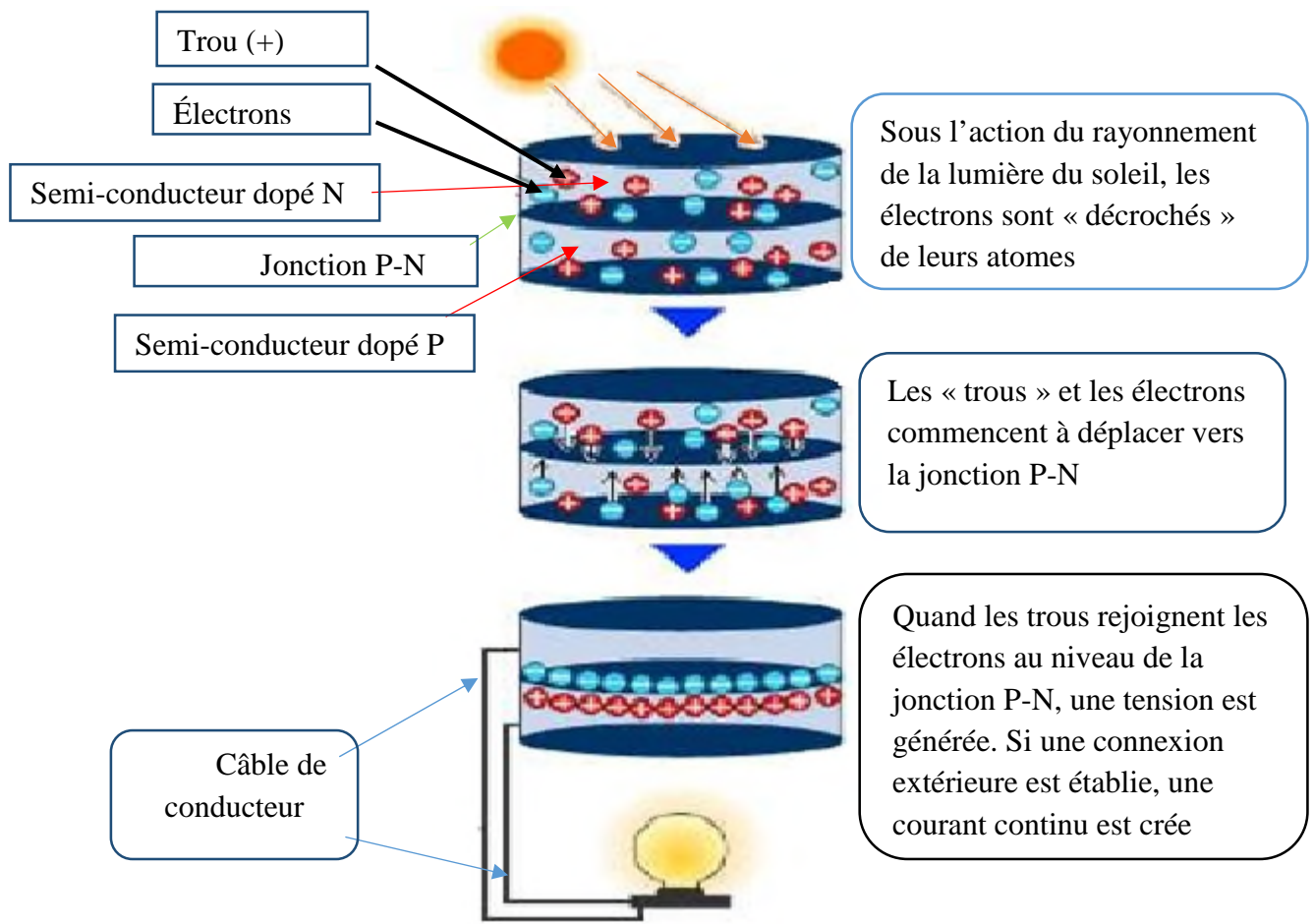


Figure II.14 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [15]

II.7 Généralités sur les batteries solaires utilisées pour le stockage d'énergie dans l'éclairage public





II.7.1 Types de batteries

Il existe quatre principaux types de batteries utilisées pour stocker l'électricité produite par les installations solaires photovoltaïques.

II.7.1.1 Les batteries au plomb

Il existe plusieurs types de batteries au plomb : la batterie plomb ouvert, la batterie AGM et la batterie gel, chacun de ces modèles présentant des caractéristiques différentes. Comme présenté dans le **tableau II.1**.

Tableau II.1 Types de batteries solaire [16]

Types	Description	Figure
<p>La batterie plomb ouvert</p>	<p>Jusqu'à tout récemment, la batterie plomb ouvert était la seule technologie de batterie pratique pour stocker l'électricité solaire.</p> <p>Ce type de batterie fonctionne notamment avec une solution d'acide sulfurique liquide. Il s'agit du même type de batterie</p> <p>Utilisée dans la voiture, mais les versions de stockage Solaire sont beaucoup plus volumineuses</p>	
<p>La batterie AGM (Absorbed Glass Mat)</p>	<p>Elle se présente sous la forme d'une batterie au plomb scellée. Son principal avantage est le fait qu'elle ne nécessite pas d'entretien. Elle présente en plus l'intérêt d'être étanche et de ne pas dégager d'hydrogène ni de chaleur durant les cycles de charge ou de décharge. Plus adaptée aux utilisations quotidiennes, elle peut faire l'objet d'une utilisation régulière, sans que ses performances en soient affectées</p>	
<p>La batterie Gel</p>	<p>La technologie de la batterie gel a tendance à supplanter les autres modèles à base de plomb de par ses caractéristiques plus performantes Sur le marché du solaire, elle est considérée comme l'évolution haut de gamme des batteries au plomb</p>	
<p>La batterie lithium</p>	<p>Ce n'est pas un hasard si les batteries lithium comptent parmi les plus populaires du marché. En pleine expansion, cette technologie se retrouve partout dans notre quotidien, Les batteries au lithium sont plus légères et plus compacte que les batteries au plomb</p>	

II.7.2 Capacité des batteries solaires

La capacité d'une batterie est la quantité d'électricité qu'elle est capable de restituer après avoir reçu une charge complète, pour un régime de courant de décharge donné, une tension d'arrêt et une température définies. Elle s'exprime usuellement en ampères-heures (Ah), unité qui rappelle la loi de Faraday.

Plus généralement, même si le courant fluctue au cours de la décharge, il est possible de parler de capacité disponible ou restituée, en intégrant le courant de la manière suivante. [17]

$$C = \int_0^t i(t) dt \quad (\text{II.7})$$

II.7.3 Autodécharge

Le taux d'autodécharge d'un accumulateur représente la perte moyenne relative de capacité par mois et pour une température donnée.

$$\tau(\%) = \frac{Q_{AS} - Q_{PS}}{Q_{AS}} \quad (\text{II.8})$$

Q_{AS} = capacité avant stockage, Q_{PS} = capacité après stockage, τ = durée de stockage en mois.

L'autodécharge est une caractéristique interne découlant de la technologie utilisée et est généralement donnée pour une température de 20°C. Les valeurs typiques sont de 3 à 15%/mois pour le Pb et jusqu'à 30 % /mois pour le Ni-Cd.

C'est une fonction linéaire du temps. Elle augmente avec l'âge et la température. Pour les batteries au Pb, elle est croissante avec la proportion d'antimoine inclus dans les armatures des plaques. Comme l'autodécharge est un paramètre très important dans les applications solaires, on utilisera de préférence des batteries à faible taux d'antimoine. Un taux d'antimoine compris entre 1.5 et 3% semble actuellement la valeur retenue. [18]

II.7.4 Profondeur de décharge

On limite en général la décharge à 80% de la capacité nominale de la batterie. Pour les applications solaires, la profondeur de décharge ne dépasse guère 40 %, les accumulateurs étant souvent surdimensionnés afin d'augmenter leur durée de vie. [18]

II.7.5 Résistance interne

Typiquement, la résistance interne des batteries est comprise entre 5 mΩ et 50 mΩ. Les fabricants de batterie cherchent cependant à obtenir une résistance interne la plus faible possible.

La résistance interne correspond à la somme de la résistance électrique des matières solides (électrodes, connexions) et de la résistance électrolytique.

La résistance interne d'une batterie dépend :

- De sa capacité (plus le nombre et la surface des plaques augmente, plus la surface d'échange augmente => plus la résistance interne diminue).
- De l'état de charge (lors de la décharge, du sulfate de plomb se forme sur les plaques => la résistance interne augmente).
- De la température (la baisse de la température augmente la viscosité de l'électrolyte => la résistance interne augmente).
- De la densité d'électrolyte. [14]

II.7.6 L'espérance de vie

La durée de vie d'une batterie est généralement évaluée en nombre de cycles qu'elle peut effectuer avant de ne plus être fonctionnelle, c'est à dire sa capacité à se charger et à se décharger. Chaque batterie réduira lentement sa capacité au fur et à mesure du temps qui passe et de la profondeur quotidienne de décharge. Moins une batterie effectuera de cycles, moins elle s'usera rapidement.

On estime qu'une batterie sera bientôt inefficace lorsqu'elle aura perdu environ 20% de sa capacité d'origine. De nos jours, les batteries lithium sont notoirement les plus performantes avec une durabilité pouvant atteindre les 6000 cycles. [16]

II.8 Régulateur des systèmes d'éclairages à LED

Le Contrôleur de charge solaire MPPT avec driver de LED intégré est combiné à un contrôleur de charge solaire et un contrôleur de courant constant de LED en une seule unité, ce qui est idéal pour l'éclairage à LED solaire, en particulier lorsque le variateur est nécessaire. Les méthodes de charge avancées du pointage du point maximal de puissance permettent au système de gérer la charge et la décharge afin d'obtenir l'optimisation la plus radicale. Augmentez la flexibilité du système tout en réduisant ses coûts.

II.9 Les convertisseurs utilisés dans les systèmes à d'éclairage à LED

L'alimentation d'un éclairage à LED avec le réseau permet de convertir le courant alternatif délivré par la ligne en un courant continu, cette conversion se fait à partir d'un redresseur afin d'assurer le fonctionnement des LEDs. Pour le cas de l'éclairage à LEDs alimenté par le panneau solaire, on utilise le convertisseur de type BOOST pour augmenter la tension produite afin d'alimenter les LEDs qui fonctionne avec le courant continu... et à une tension adaptée au module de LED.

II.10 La gestion d'éclairage public

II.10.1 Equipement de communication dans un système énergétique

Color Control GX est un centre de communication d'une installation photovoltaïque, ce système de gestion peut offrir toute l'information en direct et il permet de superviser tous les produits qui lui sont raccordés fait le Contrôle complet du système afin de maîtriser les consommations énergétiques et visualiser en temps réel le comportement de l'installation sous forme graphique.

Cet équipement a été utilisé sur un démonstrateur de lampadaire solaire dans un but de développement de produit, car il permet de recueillir des données du système énergétique et les communiquer à distance.



Figure II.15 Color Control GX

II.10.2 La gestion d'éclairage public

Dans un plan d'investissement pour l'efficacité énergétique (par une commune, une usine, un site public, touristique...), la première étape rentable est le remplacement de luminaire à forte consommation électrique par des luminaires à LED,

La deuxième étape consiste à introduire une solution de gestion de l'éclairage :

- Mieux connaître la consommation de chaque luminaire.
- Agir de manière mieux ciblée pour réduire les consommations.
- Aider à la décision sur les actions de maintenance.

L'utilisation des luminaires à LED est bien adaptée à des solutions de gestion à distance, car l'électronique présente dans les luminaires peut être commandée à distance.

Un logiciel de gestion permet de :

- Lire à distance les paramètres électriques de chaque luminaire (donc la consommation), leur temps de fonctionnement, enregistrer les pannes.
- Eteindre ou allumer chaque luminaire souhaité.
- Obtenir une baisse de luminosité (et de consommation) de 10% à 100%.
- Gérer un calendrier de fonctionnement (plages horaire versus luminosité).

Exemple de la gestion directe de chaque luminaire (ou tout point lumineux) :

- Chaque luminaire contient un boîtier électronique qui peut récupérer un grand nombre d'information sur le fonctionnement des LED, et les transmettre à un ordinateur de commande/contrôle.
- L'opérateur peut analyser séparément chaque luminaire, et prendre des décisions de maintenance ciblée.

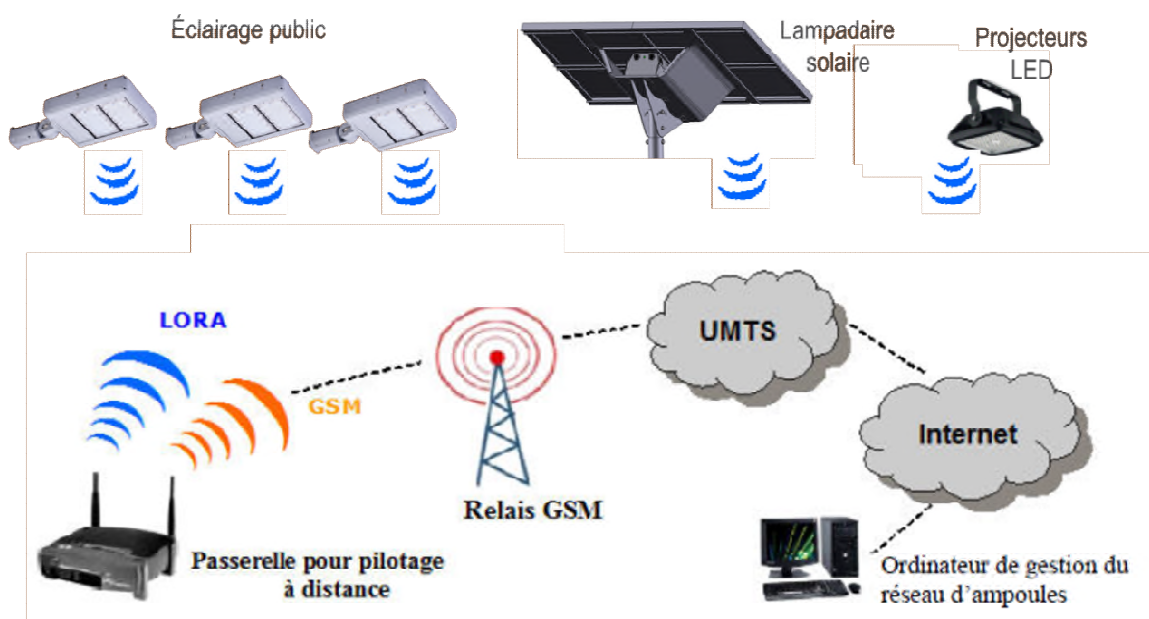


Figure II.16 le système de communication pour avoir des paramètres énergétique.

II.11 Conclusion

Le lampadaire solaire photovoltaïque s'immisce dans le domaine de l'éclairage public suite à l'apparition des luminaires à LED.

Le système d'éclairage autonome n'a pas vocation d'éclairer des zones éloignées du réseau électrique seulement, mais il permet de remplacer les lampadaires existants raccordés au réseau avec plusieurs technologies intelligentes à intégrer dans le système d'éclairage autonome.

Dans ce chapitre, nous sommes arrivés à comprendre plusieurs généralités sur les éclairages publics à LED, et cette étude nous servira dans le chapitre suivant à faire une étude technique sur l'ensemble des équipements utilisés par INDIGO ENERGIE Algérie.

Chapitre III

**Etudes expérimentales des matériels
utilisés dans les éclairages publics**

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une étude expérimentale sur les dernières technologies utiliser pour les éclairages public chez INDIGO ENERGIE Algérie pour comprendre le principe de fonctionnement et de relevé les paramètres des appareils puis on calcule leurs différentes puissances afin de déterminée la plage de fonctionnement pour chaque matériels et d'en déduire les avantages et les inconvénients.

III.2 Etude expérimentale pour comprendre le principe de fonctionnement d'une LED

III.2.1 Principe de fonctionnement d'une LED froide

Le fonctionnement relève de la physique quantique des semi-conducteurs. Les semi-conducteurs (comme le silicium ou le gallium) sont des matériaux à mi-chemin entre les conducteurs (métaux) et les isolants (plastiques ou verre, par exemple). [1]

Un matériau est conducteur quand ses électrons sont capables de se promener au sein du matériau et constituer un courant électrique. On dit que l'électron se retrouve dans la bande énergétique de conduction. Dans un conducteur la bande énergétique de conduction (responsable du passage du courant) est la bande énergétique de valence (responsable des liaisons atomiques) se chevauchent. [1]

Dans un semi-conducteur, ces deux bandes énergétiques sont proches et dans un isolant ils sont trop éloignées (les électrons ne peuvent pas sauter d'une bande à l'autre). [1]

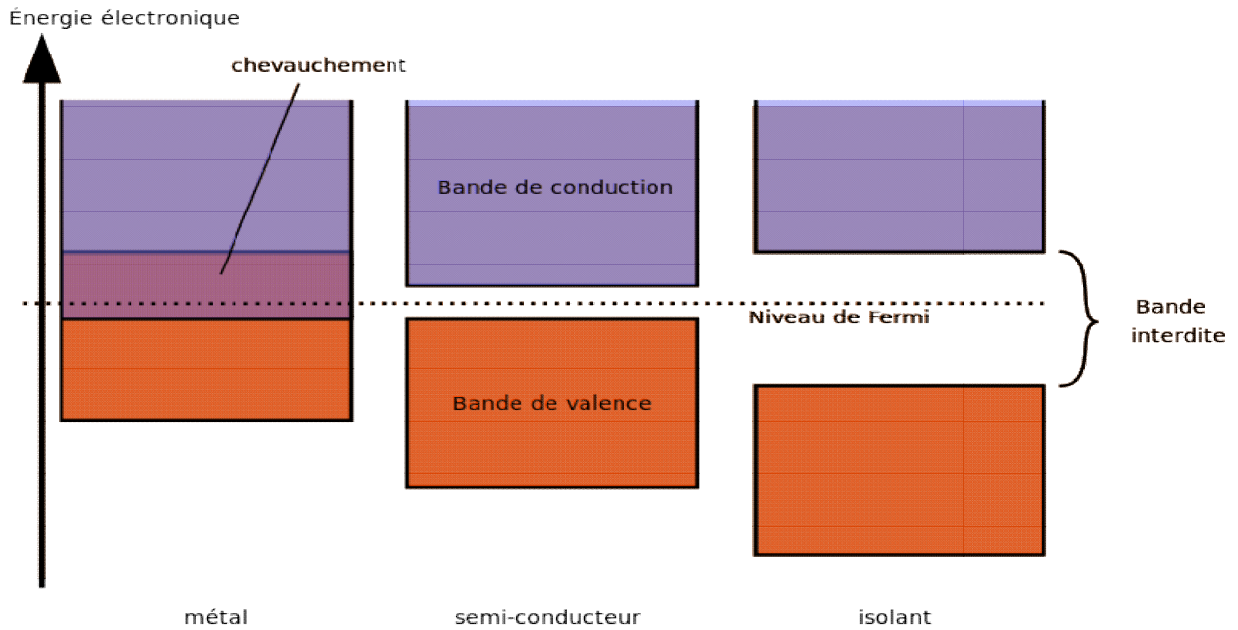


Figure III.1 Schéma explicative de la conductivité des matériaux [1]

Une LED est constituée de deux parties appelées semi-conducteur de type p (excédent d'accepteurs) et semi-conducteur de type n (excédent de donneurs). Ces deux éléments placés en contact direct forment alors une jonction p-n à l'intérieur du cristal semi-conducteur. La région n produit des porteurs mobiles chargés négativement (électrons), et la région p des porteurs mobiles chargés positivement (trous). [19]

Quand un courant électrique est appliqué à la jonction p-n de la région p à la région n, les porteurs chargés migrent vers la zone neutre de type p pour les électrons et vers la zone neutre de type n pour les trous, où ils vont se recombiner soit de façon radiative, soit de façon non radiative. [19]

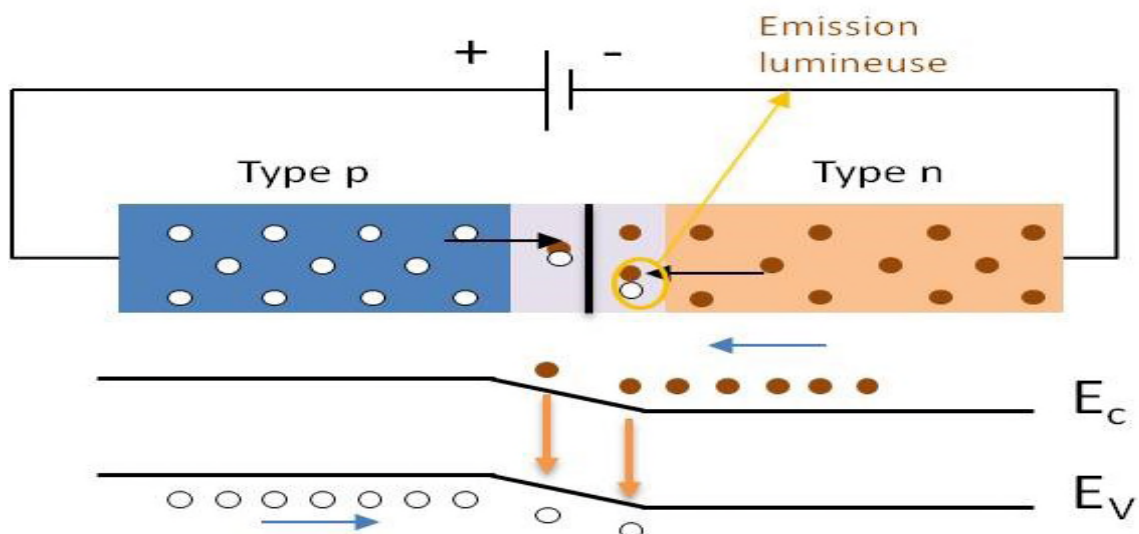


Figure III.2 Principe de semi-conducteur p-n. [19]

III.2.2 Essai sur la LED froide



III.2.2.1 Présentation du banc d'essais

Figure III.3 : la LED Allemand et Banc d'essai réalisé.

III.2.2.2 Les matériels utilisés

- Une LED froide
- Alimentation de laboratoire DC 30 V, 5 A
- Câbles de raccordements

III.2.2.3 Schéma du câblage

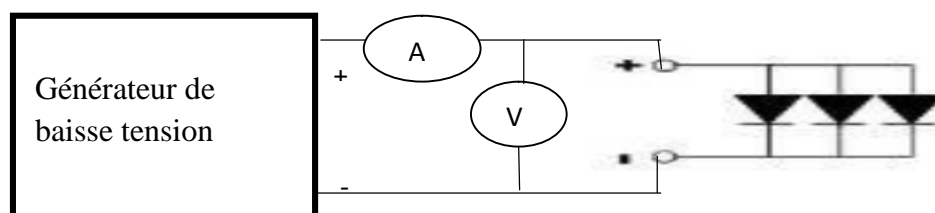


Figure III.4 Schéma d'alimentation d'une LED allemand

III.2.2.4 Résultats expérimentaux

Tableau III.1 les résultats d'un essai sur la LED froide

Tension (V)	0	1	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Courant (mA)	0	0	6	14	22	30	39	53	90	140

Puissance (mW)	0	0	16,8	40,6	66	93	12,8	174,9	306	490
----------------	---	---	------	------	----	----	------	-------	-----	-----

D'après les mesures effectuées, on conclut que le principe d'alimentation d'une LED est à très faible consommation qui est compris entre 0,0168 et 0.490W.

Courbe : A partir du **tableau III.1** on peut tracer la courbe suivante :

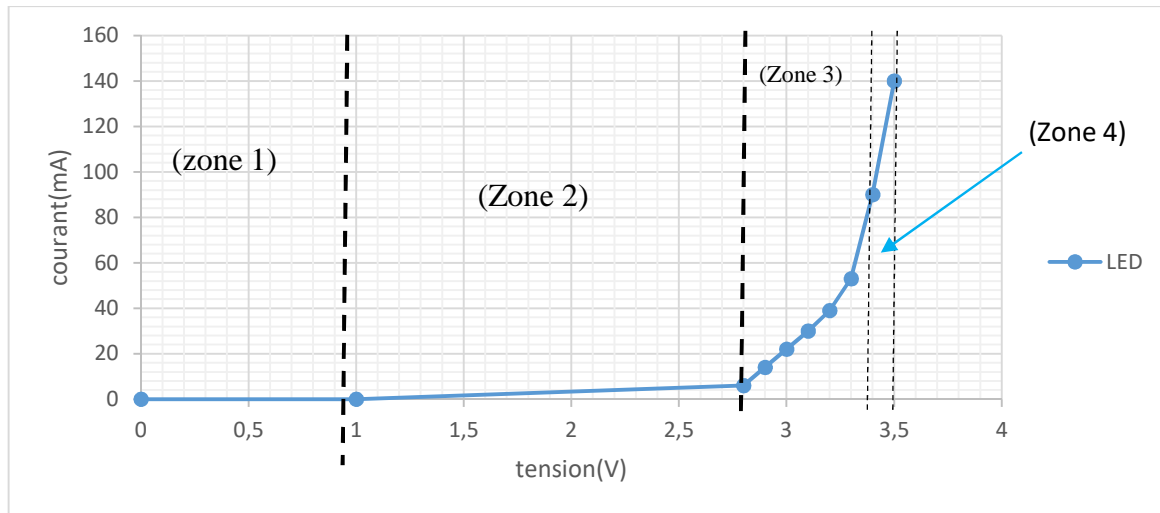


Figure III.5 La caractéristique $I=f(V)$ lors de l'essai sur la LED froide

III.2.2.5. Interprétation des résultats

La différence de potentiel formée à la jonction par la présence de charges + et - et créant une barrière de potentiel pour les électrons et les trous, est appelée tension de diffusion V_d . La tension appliquée aux bornes de la LED doit être suffisante pour compenser V_d de façon à abaisser la barrière de potentiel afin que les électrons et les trous puissent diffuser. Dans le cas de la LED Allemand, V_d est d'environ 2,8 V.

La caractéristique électrique $I=f(V)$ permet de distinguer quatre régimes en fonction du niveau d'injection de courant :

- Très faible niveau d'injection : (zone 1) : $I_{fuite} \leq 100 \text{ pA}$.
- Faible niveau d'injection : (zone 2) : $100 \text{ pA} \leq I_{fuite} \leq 6 \text{ mA}$.
- Moyen niveau d'injection : (zone 3) : $6 \text{ mA} \leq I_{fuite} \leq 90 \text{ mA}$.
- Fort niveau d'injection : (zone 4) : $I_{fuite} \geq 90 \text{ mA}$.

La valeur typique de résistance à très faible d'injection :

$$R_{\text{fuite}} = \frac{\Delta V}{I_{\text{fuite}}} = \frac{1}{100 \times 10^{-12}} = 10^{10} \Omega \quad \text{(III.1)}$$

Pour un fort régime d'injection de courant, correspondant à la **zone 4**, la limitation du courant n'est due qu'à la résistance équivalente des différentes couches de la puce. L'équation suivante modélise la tension V aux bornes de la LED.

La valeur typique :

$$V_{\text{max}} = (V_n + R_s) * I_4 \quad \text{(III.2)}$$

$$R_s = \frac{V_{\text{max}} - V_n}{I_4} = \frac{3,5 - 3,4}{50} = 2 \text{m}\Omega \quad \text{(III.3)}$$

L'origine physique de la résistance série, R_s , provient de la résistivité ρ des différentes couches Constituants la structure. Couche dopée ou non.

III.3 Etude expérimentale sur la carte à LED allemand

III.3.1 Caractéristique physique d'une carte à LED Allemand

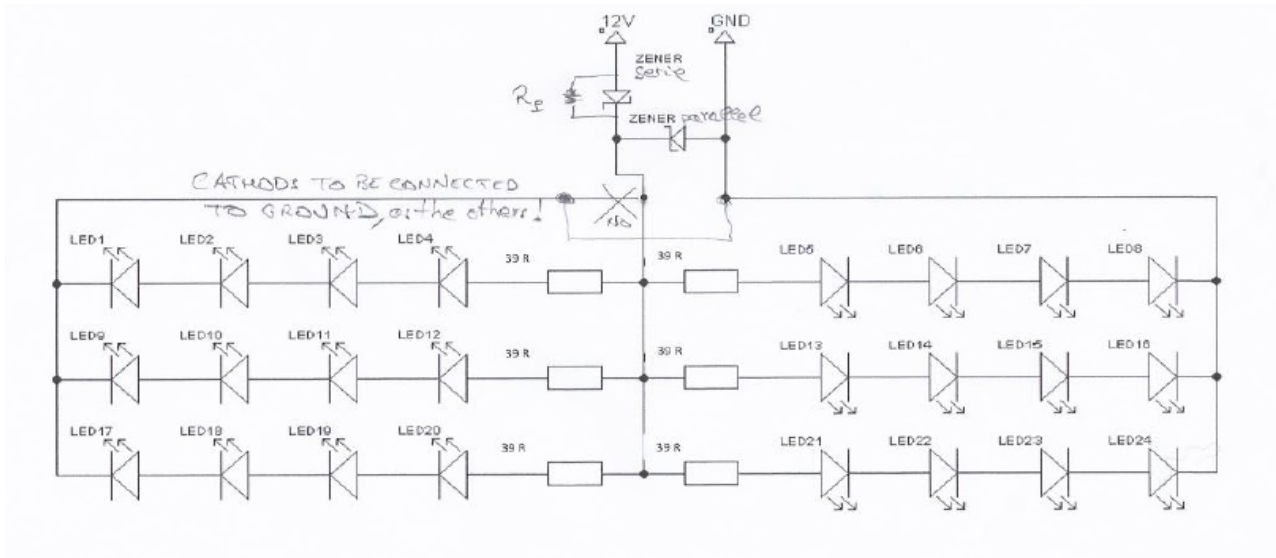


Figure III.6 schéma électronique de la carte à LED froide (4S*6P)

III.3.2 Système de protection de la carte

- ✓ Six résistance en parallèles sont utilisé principalement pour réguler l'intensité du courant électrique passe par les quatre LEDs en série pour obtenir une tension d'alimentation de 12 Vdc.

- ✓ Deux diodes de ZENER sont utilisé principalement pour leur propriété de maintenir une tension constante aux bornes de la carte et la fixation de cette tension malgré une variation de plusieurs phénomènes comme la température, la consommation de courant à l'entrée.

III.3.3 Essai sur la carte à LED froide

III.3.3.1 Présentation du banc d'essais



Figure III.7 Banc d'essai réalisé d'une carte à LED.

III.3.3.2 les matériels utilisés

- Une Carte à LED froid
- Alimentation de laboratoire DC $V= 30\text{ V}$, $I= 5\text{ A}$,
- Câbles de raccordements

III.3.3.3 Schéma du câblage

Le principe est de mesurer la variation du courant en fonction de la tension appliquée aux bornes d'une carte à LED régulée en température ambiante à 25C, voilà la figure III.9 qui représente le schéma de câblage :

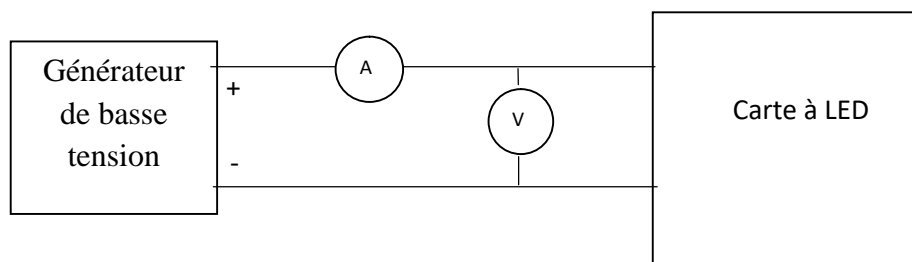


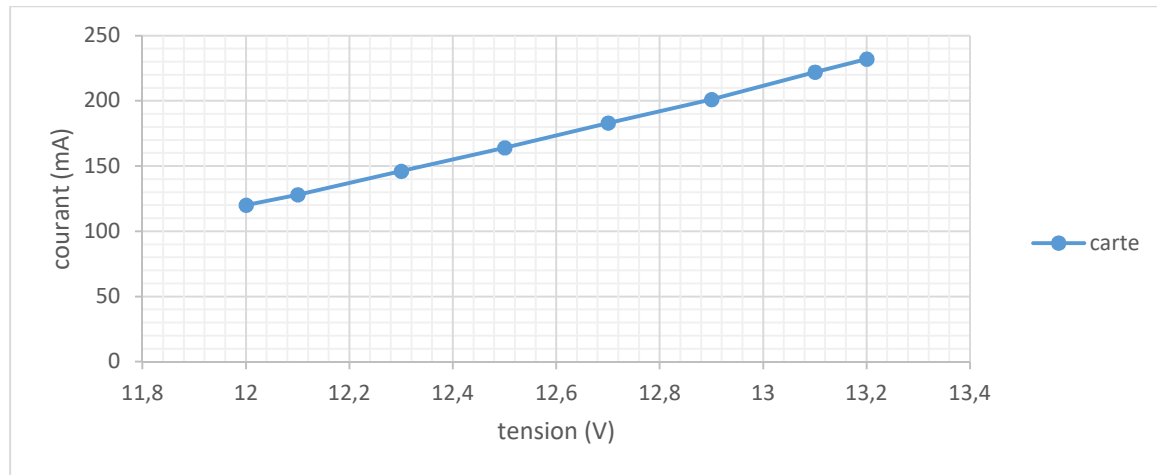
Figure III.8 Schéma de câblage pour alimenter une carte à LED froide.

III.3.3.4 Résultats expérimentaux

Tableau III.2 les résultats d'un essai sur la carte à LED froide

Courant (mA)	120	128	146	164	183	201	222	232
Tension (V)	12	12,1	12,3	12,5	12,7	12,9	13,1	13,2
Puissance(W)	1.440	1.549	1.796	2050	2.360	2.592	2.908	3.062

- **Courbe** : à partir du **tableau III.2** on peut tracer la courbe $I=f(V)$ suivante :

**Figure III.9** $I=f(V)$ qui présente les caractéristiques typique d'une carte à LED froide

III.3.3.5 Interprétation des résultats

La caractéristique $I(V)$ montre le courant traversant d'une carte à LED froide pour une plage de tension entre 12 et 13,2 V.

D'après les mesures effectuées on conclue que la tension augmente en même temps avec le courant et le principe d'alimentation d'une carte à LED est à très basse consommation.

III.4 Etude expérimentale sur le luminaire INDIGO 3 par exemple

III.4.1. Essai sur luminaire INDIGO 3

III.4.1.1. Présentation du banc d'essai

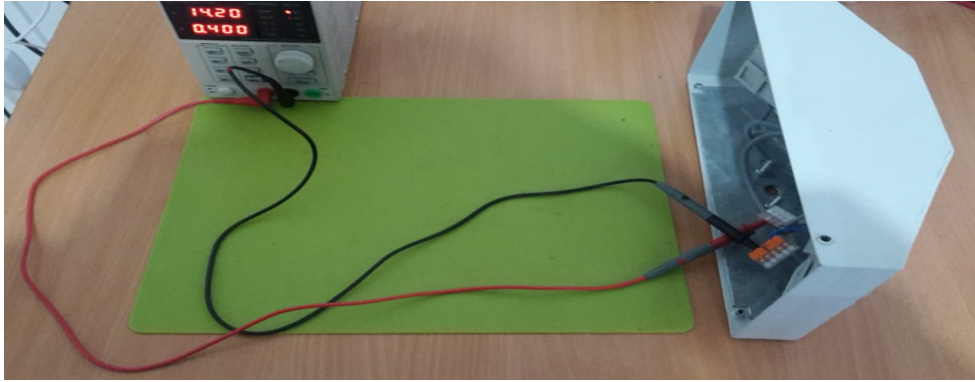


Figure III.10 Banc d'essai réalisé sur le luminaire INDIGO 3.

III.4.1.2 Matériels utilisés

- Un luminaire INDIGO 3
- Alimentation de laboratoire DC 30V, 5A
- Câbles de raccordements

III.4.1.3 Schéma du câblage

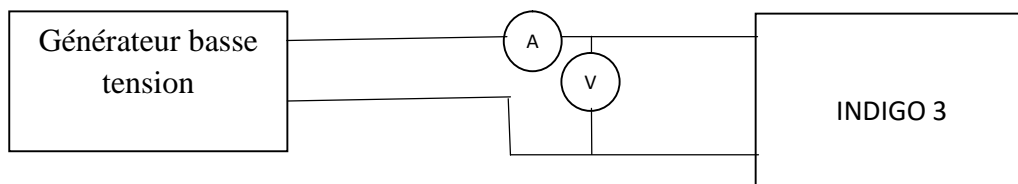


Figure III.11 Schéma de câblage pour alimenter un luminaire LED INDIGO 3.

III.4.1.4 Résultats expérimentaux

Tableau III.3 Les résultats de l'essai sur l'INDIGO 3

Tension (V)	11,8	12	12,2	12,4	12,5	12,7	12,8	13	13,2
Courant (mA)	222	264	305	340	368	401	426	467	501
Puissance(W)	2.619	3.17	3.72	4.29	4.6	5.09	5.45	6.14	6.61

- **Courbe** : à partir du **tableau III.3** on peut tracer la courbe suivante :

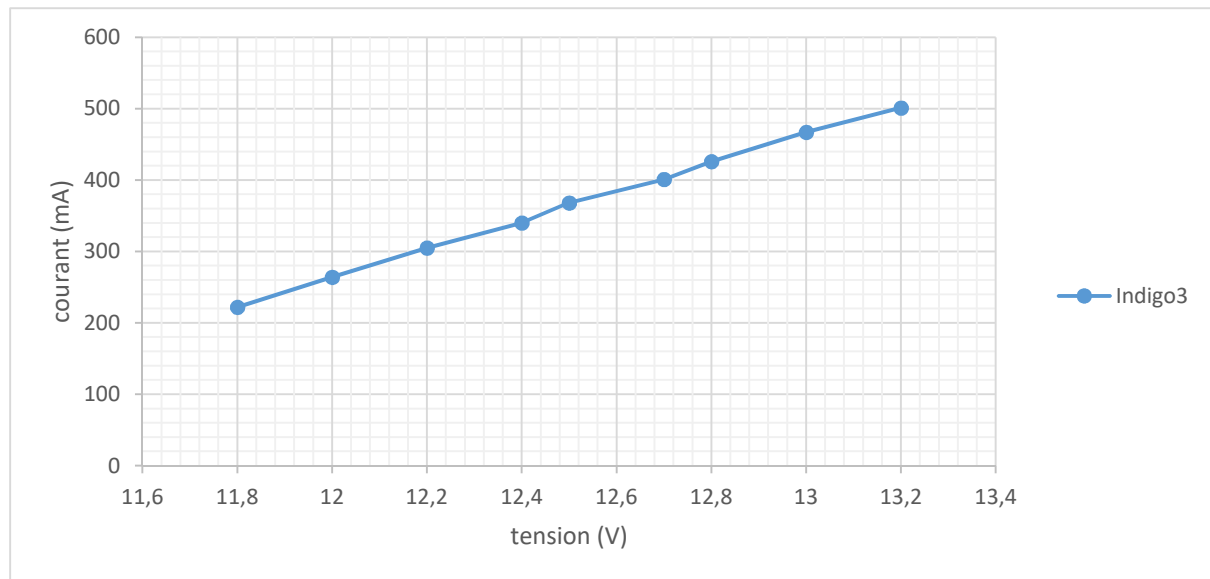


Figure III.12 $I=f(V)$ qui présente les caractéristiques typique d'un luminaire INDIGO 3.

III.4.1.5 Interprétation des résultats

La caractéristique $I(V)$ montre la tension de conduction et courant traversant d'indigo 3 à LED froide,

D'après les mesures effectuées, on conclut le principe d'alimentation d'indigo 3 est en très basse consommation qui est comprise entre 2.62W à 6.61W, est aussi quand la tension augment, le courant augment au même temps.

III.4.2 Les avantages et les inconvénients des LEDs froide

Tableau III.4 Les avantages et les inconvénients des LEDs froide

Les avantages	les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • La durée de vie est longue, de l'ordre de 10 ans sur les LED froides (80.000 à 100.000 heures). • Économies d'électricité importantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de danger pour les yeux en

<ul style="list-style-type: none"> • Qualité d'éclairage amélioré. • Les LED froide, ne nécessite pas de dissipateur. • S'allume instantanément. • Les LED sont disponibles dans de nombreux coloris et ont un bon rendu des couleurs. • On a la possibilité de faire varier le flux lumineux d'une LED. • Efficacité : c'est à dire Production de la lumière pas de la chaleur • Température de fonctionnement de -40 à 80°C. • Excellent rendement lumineux supérieure à 150 Lm/W • Bonne résistance aux cycles allumage/extinction • Recyclable. • thermique robuste aux environnements sévères. 	<p>raison de la forte luminance de la LED.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le prix très élevé. • sensibles aux dommages dus aux décharges électrostatiques.
--	--

III.5 Etude expérimentale sur le Redresseur ELN-60 pour comprendre le principe d'utilisation

III.5.1. Le principe de fonctionnement d'un redresseur

Le principe est de faire varier les deux potentiomètres le courant et la tension appliquée aux bornes d'INDIGO 3 régulée, après la validation de la plage de fonctionnement.

III.5.2 Caractéristiques physique et technique d'un redresseur AC/DC

Ce type de redresseur est identifié par les caractéristiques suivantes :

Le courant d'entrée : 1.2A/115VAC 0.7A/230VAC.

La tension d'entrée : 90-264VAC 127-370DC

La fréquence (Hz) : 47-63Hz

Le courant de sortie : 0-5A

La tension de sortie : 9V

La puissance : 45W



Figure III.13 redresseur de type ELN60.

III.5.3 Présentation du banc d'essais

III.5.3.1. Essai sur le Redresseur ELN-60

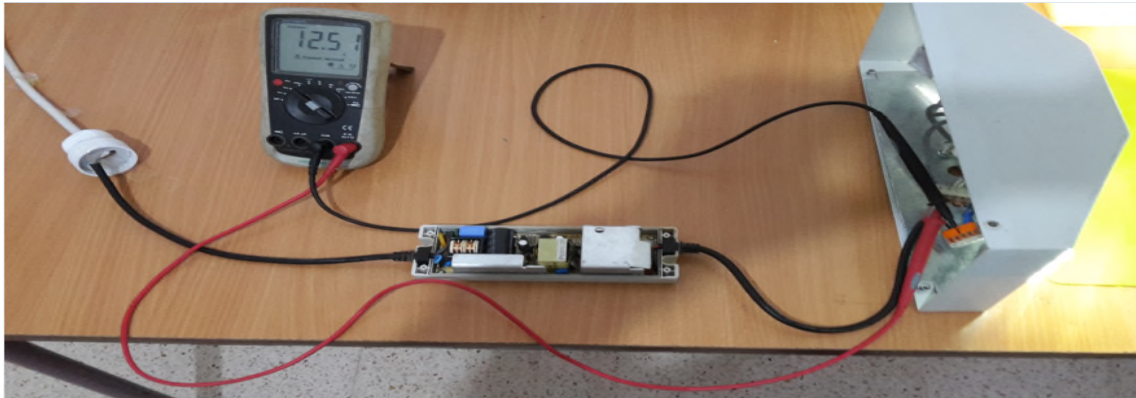


Figure III.14 Banc d'essai réalisé d'un redresseur ELN 60.

III.5.3.2 Matériels utilisés

- un luminaire INDIGO 3
- Alimentation de laboratoire DC 30V, 5A
- Câbles de raccordements
- Un convertisseur AC/DC
- Un ampèremètre

III.5.3.3 Schéma du câblage

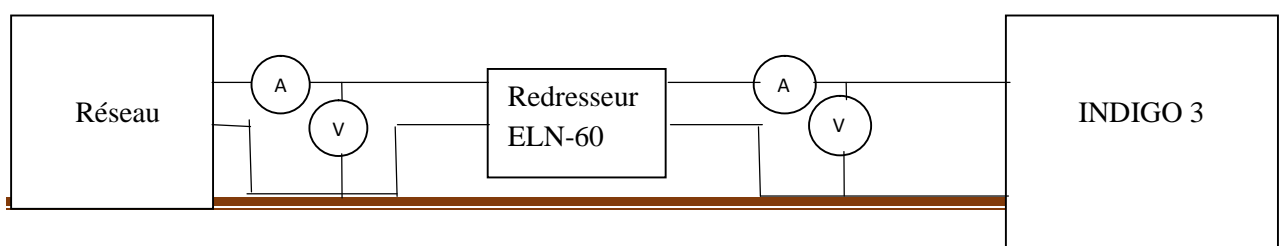


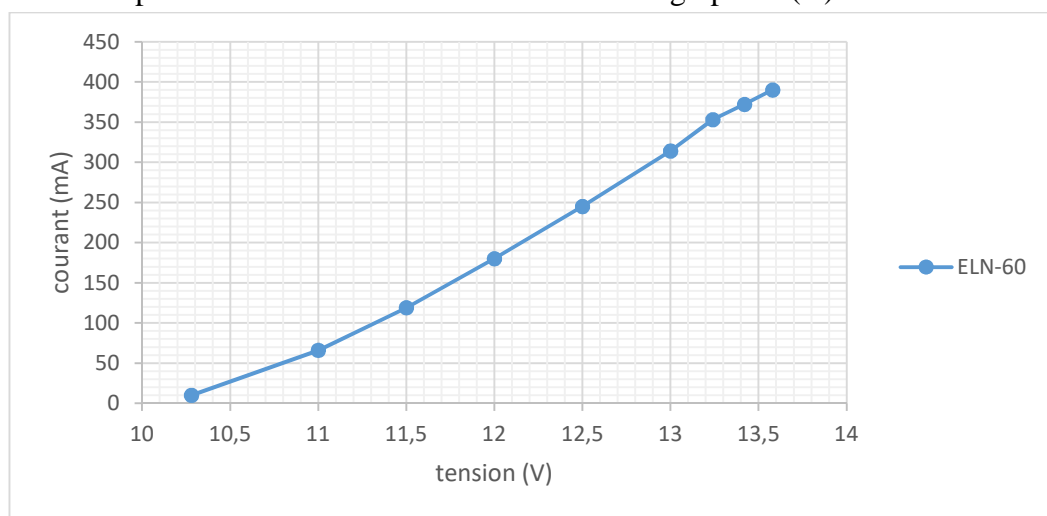
Figure III.15 Schéma de câblage d'expérience faite sur redresseur.

III.5.3.4 Résultats expérimentaux

Tableau III.5 les résultats obtenus à partir de l'essai sur le redresseur

$U_s(V)$	10,28	11	11,5	12	12,5	13	13,24	13,42	13,58
$I_s (mA)$	10	66	119	180	245	314	358	372	390

- **Courbe :** à partir de **tableau III.5** suivant en trace le graph $I=f(V)$

Figure III.16 $I=f(v)$ qui représente la caractéristique d'un redresseur ELN-60 à la sortie.

III.5.3.5 Interprétation des résultats

Le redresseur est destiné à alimenter les LEDs avec la transformation du courant alternatif de la ligne en courant continu, et de réguler la ligne et la charge

La variation manuellement des deux potentiomètres existe à l'intérieure de régulateur nous permettre de régler la puissance a la charge et d'avoir l'énergie désirer.

III.5.4 Les avantages et les inconvénients de redresseur ELN-60

Tableau III.6 Les avantages et les inconvénients de redresseur ELN-60

Les avantages	les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Maitrisé la puissance a la charge. • haute fiabilité. • Convient aux applications d'éclairage LED. • Protections: court-circuit, surintensité, 	<ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé. • 2 ans de la garantie. • Efficacité à 82 %

surtension.	
-------------	--

III.6 Etude expérimentale pour comprendre le principe d'utilisation et de calculer les pertes dans le Hacheur LDD-700W

III.6.1 Caractéristiques technique et physique de convertisseur DC/DC qu'on va utiliser dans la manipulation

U_e : Entrée : 9 à 36V

U_s : Sortie : 2 à 32V

I : Entrée et Sortie 300 mA a 1000 mA



Figure III.17 le hacheur LDD-700W.

III.6.2 Manipulation sur un luminaire avec son hacheur LDD-700

III.6.2.1 Schéma du câblage

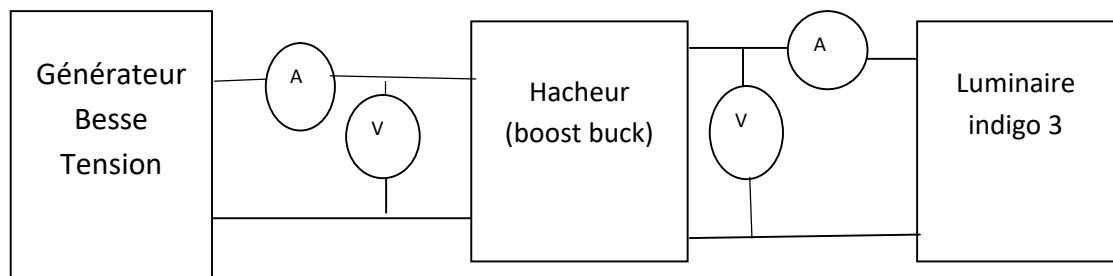


Figure III.18 Schéma de câblage d'essai sur le convertisseur DC/DC

III.6.2.2 Essai sur le Hacheur LDD-700

Le principe est de faire alimenter luminaire INDIGO 3 on utilise le convertisseur LDD-700 et la déduction des pertes de convertisseur DC/DC.

III.6.2.3 Présentation du banc d'essais



Figure III.19 Banc d'essai réalisé sur le hacheur.

III.6.2.4 Matériels utilisés

- un luminaire INDIGO 3.
- Alimentation de laboratoire DC 30V, 5A.
- Câbles de raccordements.
- convertisseur DC/DC.
- Un ampèremètre.
- Un voltmètre.

III.6.2.5 Résultats expérimentaux

Tableau III.7 : Les résultats obtenu à partir de l'essai sur le hacheur.

U_e (V)	I_e (A)	U_s (V)	I_s (A)	P_e (W)	P_s (W)	Pertes (W)
7.64	47	11.72	25	0.359	0.293	0.066
7.65	101	12.2	60	0.772	0.732	0.040
7.67	241	13	130	1.848	1.690	0.158
7.69	332	13.1	170	2.543	2.227	0.316
7.71	388	13.15	190	2.991	2.498	0.492

Les pertes de puissance dues au fonctionnement du circuit de hacheur LDD-700 sont variées entre 0,066 et 0,492.

- **Courbe :** À partir du **tableau III.7** on peut tracer la courbe suivante

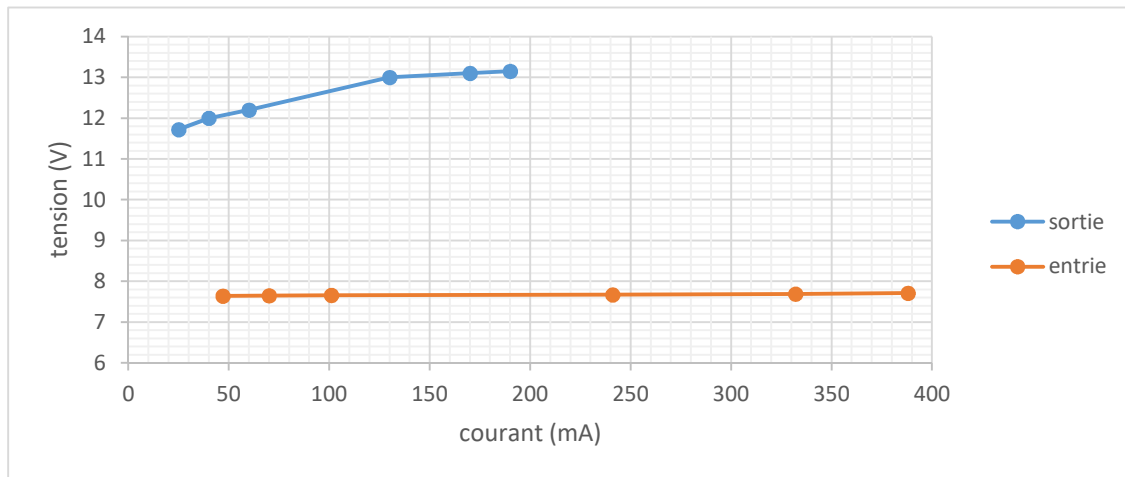


Figure III.20 niveau de la tension a la sortie et l'entrée de LDD-700.

III.6.2.6 Interprétation des résultats

L'éclairage alimenté par une batterie_ utilisent souvent plusieurs accumulateurs en série afin d'avoir un niveau de tension suffisamment élevé, Un convertisseur DC/DC (boost buck) permet d'augmenter la tension fournie par les batteries et ainsi diminuer le nombre accumulateurs nécessaires pour atteindre le niveau de tension désiré.

III.6.3 Les avantages et les inconvénients d'un hacheur

Tableau III.8 Les avantages et les inconvénients de de hacheur LDD-700

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Convient aux applications d'éclairage LED. • haute fiabilité. • protection : court-circuit, température élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé. • Le gain énergétique annuel par rapport à un système d'éclairage public moins complexe n'est pas important.

III.7 Etude sur la technologie batterie Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4)

III.7.1 Description d'un accumulateur :

On appelle accumulateur électrochimique tout dispositif capable de convertir de l'énergie électrique en énergie chimique, et inversement. L'énergie électrique peut alors être

stockée dans sa forme chimique à travers la recharge. Inversement, la transformation de l'énergie chimique en énergie électrique correspond à la décharge de l'accumulateur.

La constitution générique d'un accumulateur est présentée dans la suite de ce sous-chapitre. Le principe de fonctionnement électrochimique. [21]

III.7.2 Principe de fonctionnement d'une batterie lithium-ion :

Un accumulateur Li-ion a pour but de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique de façon réversible. Cela signifie qu'il est le siège d'une réaction chimique réversible.

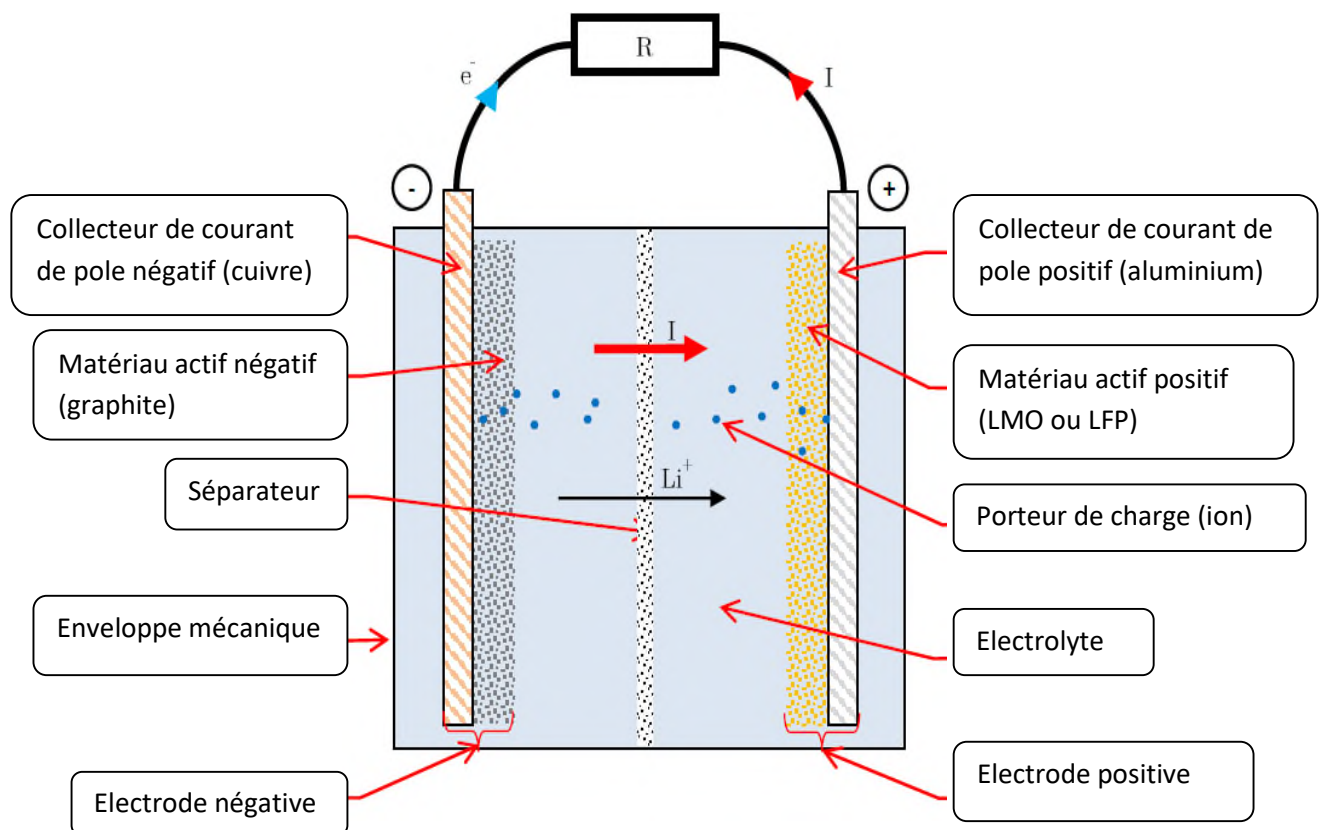


Figure 21 : Principe de fonctionnement d'une cellule lithium-ion en décharge [21]

A la décharge, les électrons migrent de l'électrode négative vers la positive, ce qui crée un courant du pôle plus vers le pôle moins. L'électrode négative cède des électrons, il y a donc oxydation. L'électrode positive accepte des électrons, il y a donc réduction. Ainsi, en décharge, l'électrode positive constitue la cathode et l'électrode négative constitue l'anode.

Les réactions chimiques pour les batteries Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO₄) sont les suivantes :



(décharge)

III.7.3 Sécurisation des cellules par le BMS (Battery Management System)

Pour garantir une bonne durée de vie du système, le BMS doit en premier lieu pouvoir surveiller les grandeurs qui sont préjudiciables aux cellules qui composent la batterie. Si les seuils de ces grandeurs sont atteints, le BMS doit pouvoir indiquer au système utilisant la batterie, que cette dernière ne doit plus être utilisée. Si cette dernière est toujours utilisée, le BMS doit pouvoir isoler électriquement la batterie pour stopper son fonctionnement.

Pour ce qui est des seuils, les événements à éviter sont les suivants : [20]

- Une forte température,
- Un trop fort courant,
- Une trop faible tension,
- Une trop forte tension de charge.

III.8 Etude expérimentale sur la décharge d'une batterie

III.8.1 Caractéristique de la batterie lithium Ferro-Phosphate (LiFePO₄)

Tension nominale : 12,8V.

Capacité nominale : 20 Ah.

Résistance interne $\leq 50m\Omega$.

Nombre de cycles >2000 cycles.

Autodécharge < 3% par mois.

Rendement énergétique 96% ~99%.

Excellente tenue en température (-20 °C à +60 °C).

Tension de coupure BMS 14.7V cas de la charge.



Tension de coupure BMS 10 V cas décharge.

III.8.2 Essai sur la batterie

III.8.2.1 Présentation du banc d'essai

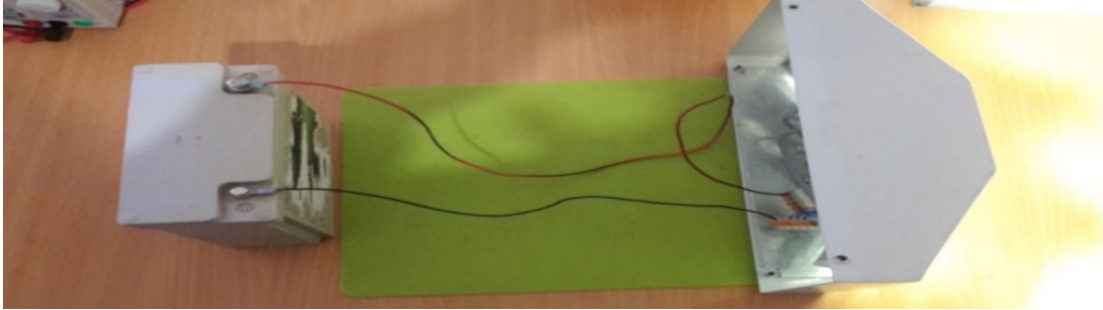


Figure III.22 Banc d'essai réalisé sur la décharge d'une batterie

III.8.2.2 Matériel utilisés

- Une charge de 30W
- Câbles de raccordements
- Batterie 12,8V/20Ah

III.8.2.3 Schéma de câblage

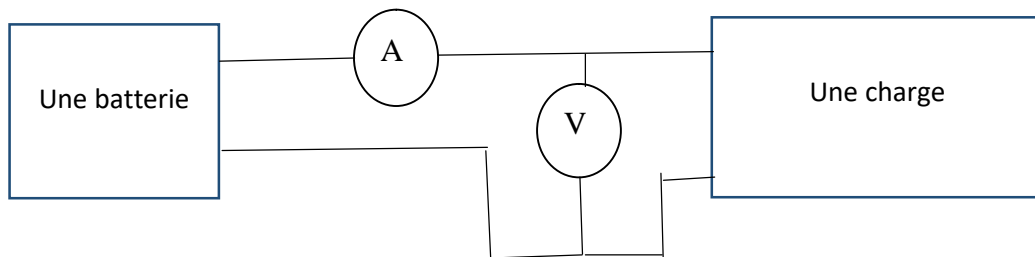


Figure III.23 Schéma de câblage de la décharge d'une batterie lithium-ion

III.8.2.4 Résultat expérimentaux

Tableau III.9 Les résultats obtenu à partir de première essai sur la décharge de la batterie

Application de 0,125 de la capacité nominale de la batterie

Temps (h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tension (V)	14,23	13,64	13,06	13	12,93	12,91	12,9	12,67	10

Tableau III.10 Les résultats obtenu à partir de deuxième essai sur la décharge de la batterie

Application de 0,1 de la capacité nominale de la batterie

t(h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

u(V)	14,12	13,66	13,18	13,05	13	12,98	12,97	12,91	12,75	12,28	10,02
------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

➤ **Courbe :** à partir des **tableaux (III.9 et III.10)** suivants en trace les courbes $U=f(t)$:

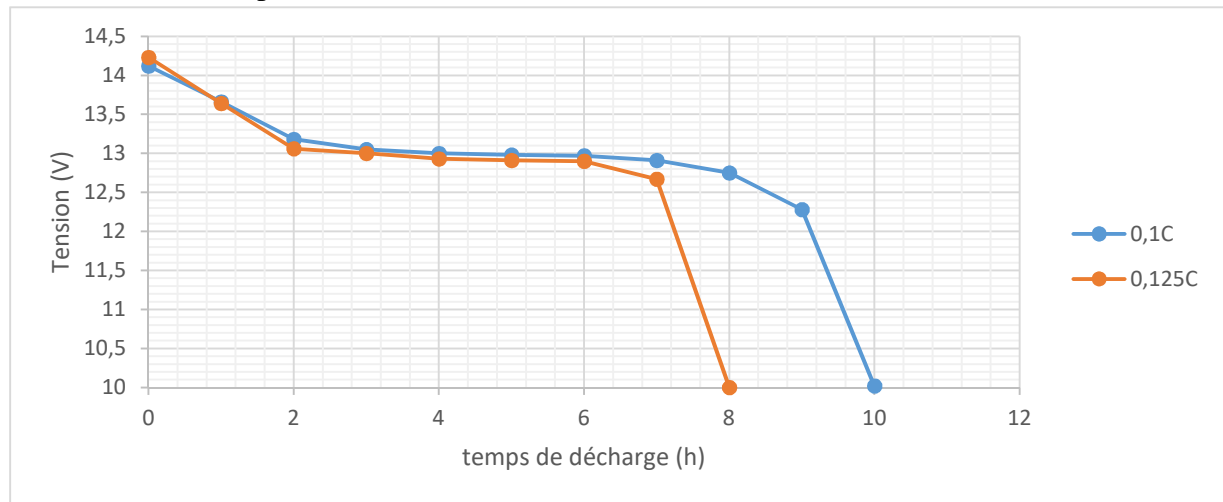


Figure III.24 la caractéristique $U=f(t)$ de la batterie pendant la décharge

La tension aux bornes de la batterie lithium-ion diminue ou augmente en fonction du temps. Est sera maximale lorsque la batterie est totalement chargée et minimal lorsqu'elle est vide. Cette technologie possède la courbe de décharge plate.

La courbe montre la tension de coupure environ de 10V cela protège contre des mauvaises manipulations (surcharge, décharge profonde) qui peut conduire à une destruction de l'élément, les batteries lithium-ion possèdent une électronique de protection interne qui les protège de ces mauvaises manipulations.

➤ **Le circuit électronique de protection interne**

Pour préserver les utilisateurs du moindre risque, nos batteries Li-ion possèdent un circuit électronique de protection. Ce circuit comporte plusieurs éléments :

- Un transistor qui coupe la charge si la tension de charge dépasse la limite autorisée.
- Un fusible thermique qui grille si la température approche 90°C.
- Plusieurs circuits qui surveillent les tensions et qui isolent la batterie si les seuils hauts et bas sont atteints. [12]

III.9 Etude expérimentale sur la charge d'une batterie

III.9.1 Principe de fonctionnement

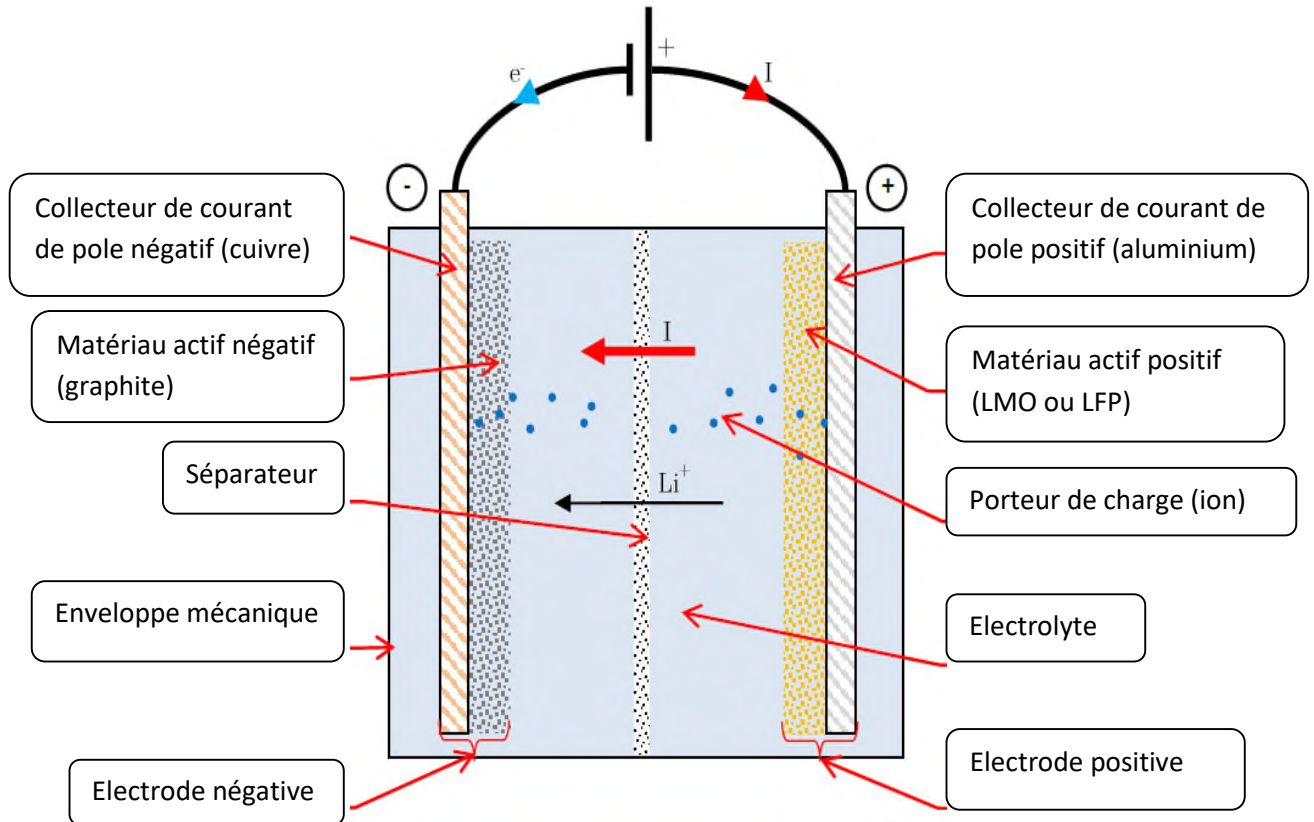
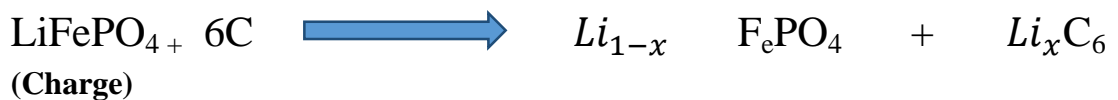
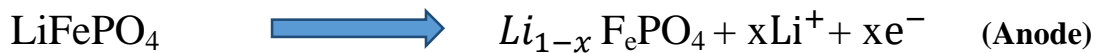


Figure III.25 Principe de fonctionnement d'une cellule lithium-ion à la charge [21]

A la charge, les électrons migrent de l'électrode positive vers la négative. L'électrode positive cède des électrons, il y a donc oxydation. L'électrode négative accepte des électrons, il y a donc réduction. Ainsi, en charge, l'électrode positive constitue l'anode et l'électrode négative constitue la cathode.

Les réactions chimiques pour les batteries Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO₄) sont les suivantes :



III.9.2 Essai sur la batterie

III.9.2.1 Présentation du banc d'essai



Figure III.26 Banc d'essai réalisé sur la charge d'une batterie

III.9.2.2 Matériel utilisés

- Alimentation de laboratoire DC 30V, 5A
- Câbles de raccordements
- Batterie 12V/20 [Ah]
- Un ampèremètre

III.9.2.3 Schéma de câblage

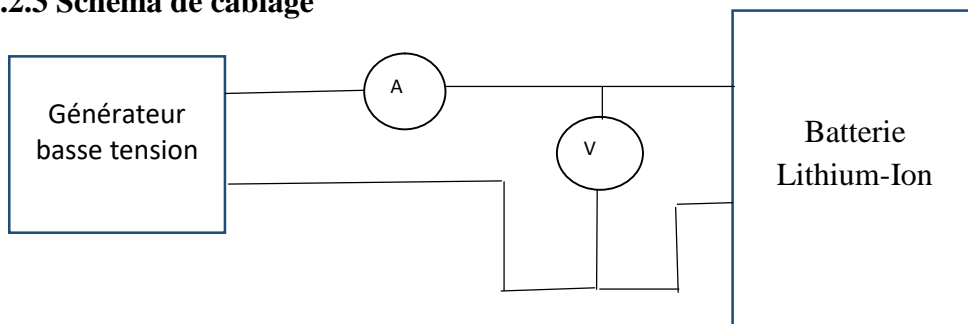


Figure III.27 Schéma de câblage de la décharge d'une batterie lithium-ion

III.9.2.4 Résultat expérimentaux

$$\text{SoC} = \frac{\text{Capacité chargée à l'instant } t \text{ [Ah]}}{\text{Capacité nominale [Ah]}} * 100 (\%) \quad (\text{III.5})$$

$$\text{SoH} = \frac{\text{Capacité maximale dans l'état de vieillissement [Ah]}}{\text{Capacité nominale [Ah]}} * 100 (\%) \quad (\text{III.6})$$

Tableau III.11 Les résultats obtenu à partir d’essai sur la charge d’une batterie

Numéro Heure	Tension (V)	Courant (A)	(Ah)	SOC (100%)
0	10,02	2	0	0
1	12,59	2	2	10
2	13	2	4	20
3	13,06	2	6	30
4	13,09	2	8	40
5	13,12	1,99	9,99	49,95
6	13,17	1,99	11,98	59,9
7	13,23	1,98	13,96	69,8
8	13.25	1,97	15,93	79,65
9	13,85	1,63	17,56	87,80
10	14,	0,6	18,16	90,8
11	14,52	0,5	18,66	93,30
12	14,60	0,326	19	95

• **Définition l’état de santé d’une batterie**

Le SoH est alors l’image de la capacité de la batterie, prenant en général pour référence la capacité nominale en début de vie.

$$SoH = \frac{19,1 \text{ Ah}}{20 \text{ Ah}} * 100 = 95 (\%) \tag{III.7}$$

• **La courbe :** à partir de **tableau III.10** en trace la courbe I=f(SOC) :

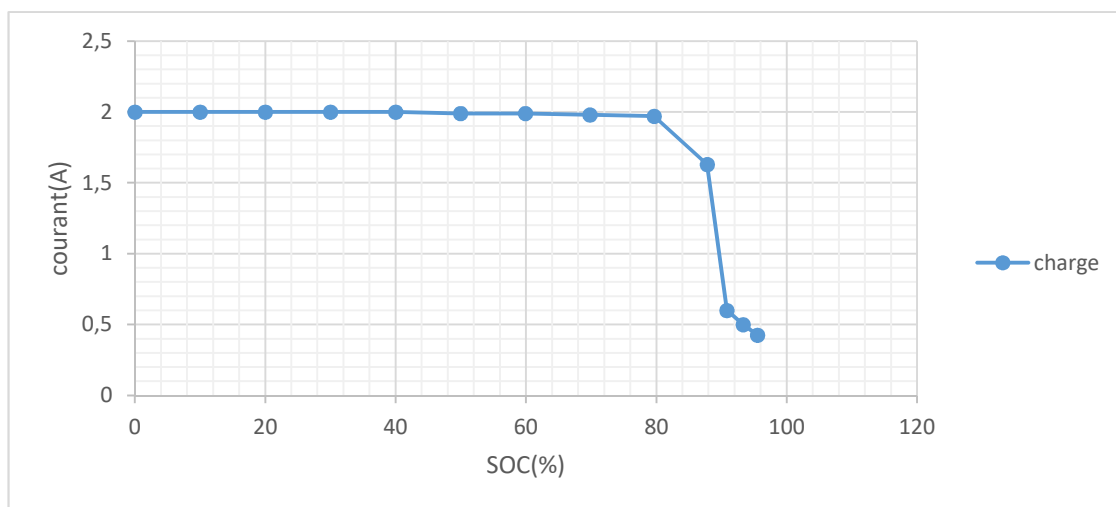


Figure III.28 Courbes de courant lors d'une charge pour une batterie lithium-ion.

La charge est présentée en deux phases, une première phase est le courant appliqué sur la batterie $I= 2A$. Cette phase permet une charge rapide jusqu'à environ 80 %, puis une deuxième phase à tension constante et courant décroissant pour se rapprocher des 100 % de la charge. La charge est terminée lorsque le courant de charge chute en dessous d'une valeur appelée courant de fin de charge elle est environ de 0.5A.

Les accumulateurs Lithium-ion ont une valeur de résistance interne relativement faible qui elle est inférieur de $50m\Omega$. Elle permet donc des appels de courant modérés. Pour l'application sur les luminaires a LED, elle est très bien appropriée.

- **La courbe :** à partir de **tableau III.10** en trace la courbe $U=f(SOC)$:

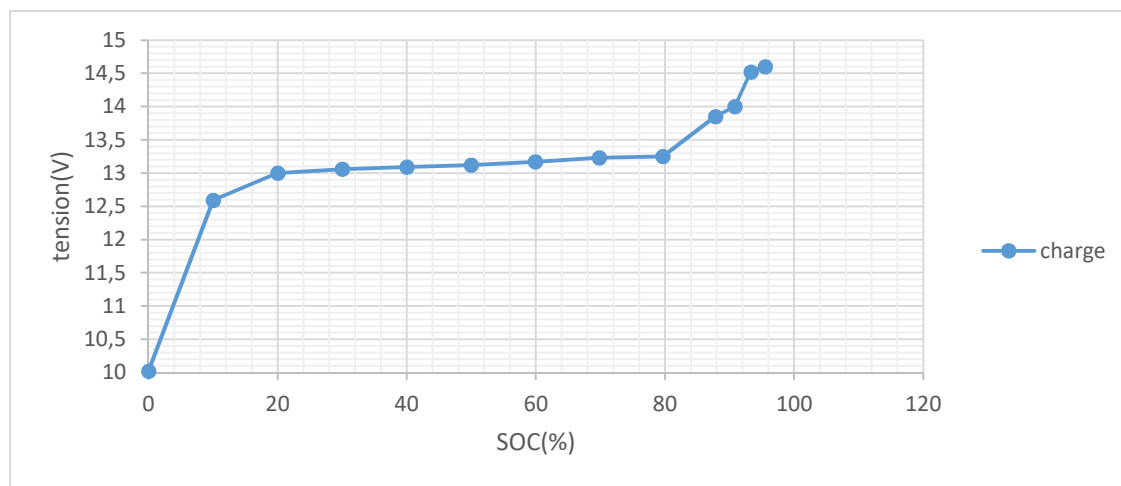


Figure III.29 Courbes de tension lors d'une charge pour une batterie lithium-ion

La tension aux bornes d'une cellule est la différence de potentiel entre ces bornes.

La courbe étant presque plate entre 10 % et 90 % de SoC. Il n'est alors pas possible de connaître le SoC à partir d'une mesure de tension qu'aux extrémités inférieures et supérieures de la courbe.

III.9.3 Les avantages et les inconvénients de la batterie lithium-ion

Tableau III.12 Les avantages et les inconvénients de la batterie lithium-ion

Les avantages	les inconvénients
-Faible résistance interne - Bonne sécurité avec BMS intégré au boitier - Grande durée de vie plus de 10 ans	- Performances liées à la température (notamment la puissance).

- Peu cher -rendement énergétique >96 %. -Gain de poids > 50 % et encombrement - diminué de 40% par rapport aux batteries au Plomb. -Très faible toxicité pour l'environnement.	
--	--

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu constater que le développement des technologies intégrées dans l'éclairage public donne une grande fiabilité de système soit pour la sécurité, le rendement, la gestion de l'énergie.

Les mesures effectuées lors des tests de la LED, la carte à LED et l'indigo 3 nous permettons d'identifier le rendement et les caractéristiques précises des LEDs mises en œuvre pour chaque banc d'essai, et cela nous facilite de sélectionner les indigo adaptées à un projet afin d'aboutir à un véritable travail de sur-mesure. L'utilisation des convertisseurs statiques pour alimenter les LEDs est obligatoire pour le cas de l'alimentation réseau, le redresseur fait le rôle de convertir le courant alternatif en courant continu. Ainsi, pour le cas d'une alimentation autonome, il est nécessaire d'utiliser le convertisseur DC/DC (boost-buck) afin de réguler la tension à la charge. Pour la technologie de batterie lithium-ion, l'augmentation de la quantité d'énergie embarquée n'est pas la seule solution pour accroître l'autonomie de l'éclairage public, mais une amélioration de la connaissance précise et fiable de l'état de la batterie peut permettre également de diminuer les marges de sécurité pour optimiser le taux d'utilisation de la batterie et ainsi d'augmenter la part réellement utilisée de cette batterie.

Le prochain chapitre aura pour objectif de faire le dimensionnement d'un éclairage public autonome qui nous permette de réaliser une installation fiable et adéquat et aussi de faire une étude comparative des luminaires à LED avec les luminaires classiques.

Chapitre IV

Etude sur l'éclairage public autonome

IV.1 Introduction

Vu la croissance de la demande des populations en énergies et la limitation des ressources classiques, on remarque que les dernières technologies apportées par les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique deviennent très intéressantes dans l'éclairage public, en apportant une solution réellement économique et écologique.

On estime qu'actuellement plus de 40% de la consommation énergétique d'une commune concerne l'éclairage public. L'utilisation des dernières technologies apportées par les énergies renouvelable et l'efficacité énergétique vont jouer un rôle très important pour réduire la facture énergétique Dans cette optique, nous allons étudier l'ensemble des technologies utilisées chez Indigo Energie Algérie.

IV.2 Dimensionnement de l'éclairage public solaire a LED

Dans cette étape nous allons détailler une méthode de dimensionnement qui prend en compte divers paramètres.

Le but est d'aboutir aux choix pour plus d'efficacité et une meilleure rentabilité pour notre installation.

On utilise les éléments suivants :

Panneau photovoltaïque, régulateur, batteries, câbles et luminaire INDIGO 3.

IV.2.1 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Tableau IV.1 Caractéristique du panneau ENG 80-100W mono. [1]

Pmax(W)	Upv(V)	Ipv(A)	Longueur de câble (mm)	Dimension A*B*C (mm ³)
80	17.4	4.61	900	1194*542*35

➤ Calcul de la taille du générateur photovoltaïque :

La puissance journalière du panneau photovoltaïque :

$$P_{pv}/j = P_c \times N_e \quad (IV.1)$$

Avec : P_{pv} : puissance journalière du panneau.

P_c : puissance crête du panneau.

$$N_e = \frac{G_s}{1000} \text{ Wh/j} \quad (IV.2)$$

G_s : valeur de l'ensoleillement moyen mensuel du mois le plus défavorable de l'ensoleillement et 1000 (w/m²) est la valeur de l'ensoleillement dans les conditions STC.

Remarque : Dans les installations électriques nous avons des pertes (conditions réelles). On peut estimer ces pertes à 20%, d'où la puissance journalière réelle est égale à :

$$P_{pv}/J_{réel} = P_{pv}/j \times (1-0,2) \tag{IV.3}$$

$$N_e = \frac{G_s}{1000} = \frac{2,3 \times 10^3}{1000} = 2,3 \text{ Wh/j}$$

$$P_{pv}/j = 80 \times 2.3 = 184 \text{ Wh /j}$$

$$P_{pv}/réel = P_{pv}/j \times (1-0,2) = 184 \times (1-0,2) = 147.2 \text{ Wh /j}$$

$$B_j: P_{ch} * 12h \tag{IV.4}$$

$$B_j: 9 * 12h = 108 \text{ Wh /j}$$

Avec :

B_j : besoin journalier moyen d'un luminaire INDIGO 3.

➤ **Nombre de panneaux**

$$N_p = B_j / P_{pv}/réel = 108 / 147.2 = 1 \text{ panneaux} \tag{IV.5}$$

➤ **Surface d'un panneau photovoltaïque**

$$S_{pv} = L * l = 1.194 * 0.542 = 0.65 \text{ m}^2 \tag{IV.6}$$

Avec :

L : longueur du panneau et l : largeur du panneau.

IV.2.2 Dimensionnement des batteries

Le tableau IV.2 représente les caractéristiques d'une batterie lithium-ion :

Tableau IV.2 Caractéristiques d'une batterie lithium-ion. [1]

Tension nominale	Capacité nominale	Energie	Rendement énergétique
12.8V	20 Ah	256 Wh	96% ~99%

➤ **Autonomie des batteries :**

L'autonomie d'une installation est le nombre de jours pendant lesquels les batteries peuvent assurer les besoins en électricité sans que les panneaux ne fonctionnent. Dans notre cas, nous avons 2 jours de mauvais temps pendant le mois de décembre qui est le mois le plus défavorable pour la ville de Bejaïa.

➤ **La capacité des batteries (C_{batt}) :**

$$C_{batt} = \frac{(B_j * J_{aut})}{(V_{batt} * DOD)} \quad (IV.7)$$

Avec :

$J_{aut} = 2$: nombre de jour d'autonomie.

$V_{batt} = 12.8V$: tension des batteries lithium-ion.

$DOD = 85\%$: la Profondeur de décharge maximum des batteries lithium-ion.

$$C_{batt} = \frac{(108 * 2)}{(12.8 * 0.85)} = 20.05 \text{ Ah} \quad (IV.8)$$

➤ **Nombre de batteries (N_{batt})**

$$N_{batt} = \frac{C_{batt}}{C_{batt,u}} \quad (IV.9)$$

Avec :

$C_{batt/u} = 20Ah$: la capacité unitaire d'une batterie lithium-ion.

$$N_{batt} = \frac{21.09}{20} = 1 \text{ batterie.}$$

IV.2.3 Dimensionnement du régulateur victron :

Tableau IV.3 Caractéristiques d'un régulateur victron. [1]

Tension	Courant(A)	Puissance(w)	Efficacité maximale à la sortie
12/24 VDC auto	10	130	96%

➤ **Nombre de régulateur (N_{regul}) :**

$$N_{\text{regul}} = \frac{I_{\text{gen}}}{I_{\text{regul},u}} \quad (\text{VI.10})$$

Avec :

$I_{\text{gel}} = 4.61 * 1 = 4.61 \text{ A}$: courant fourni par le panneau.

$I_{\text{regul},u} = 10$: courant unitaire du régulateur

$$N_{\text{regul}} = \frac{4.61}{10} = 1 \text{ régulateur.}$$

IV.2.4 Dimensionnement des câbles

Pour assurer le transport de l'énergie, nous utilisons des câbles solaires en cuivre qui assurent une longue durée de vie (supérieure à 30ans) et supportent les variations de température (pouvant aller de -20°C à 80°C).

$$S = \frac{(R * 2 * L * I)}{\Delta V} \text{ mm}^2 \quad (\text{VI.11})$$

Avec :

S : Section des câbles.

R : résistivité = $1.6 * 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (conducteur en cuivre).

L : longueur du câble.

I : courant qui traverse le câble.

ΔV : chute de tension (elle ne dépasse pas 2% de la tension V).

➤ **Section des câbles entre un panneau et le régulateur :**

Avec : L = 4m (le régulateur placé sous le support dans une boîte afin de faciliter l'accessibilité).

$$S_{C1} = \frac{(1.6 * 10^{-8} * 1.15 * 4 * 4.58)}{(0.02 * 17.5)} = 1.05 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

Le choix commercial est de 2.5mm²

➤ **Section des câbles entre les régulateurs et les batteries**

Avec L=0.5m (les batteries seront placées dans la boîte sous support).

$$V_{\text{batt}} = 12.8\text{V}$$

$$\alpha = \frac{V_{\text{batt}}}{V_{\text{pv}}} = \frac{12.8}{17.5} = 0.73$$

$$I_{\text{batt}} = \frac{4.61}{0.73} = 6.32 \text{ A}$$

$$S_{C2} = \frac{(1.6 * 10^{-8} * 1.15 * 0.5 * 6.32)}{(0.02 * 12.8)} = 0.246 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

Le choix commercial est de 2.5mm².

➤ **Section des câbles entre le régulateur et l'INDIGO 3 :**

Avec L=4m (l'INDIGO 3 placé sur le maximum de la hauteur du support).

$$S_{C3} = \frac{(1.6 * 10^{-8} * 1.25 * 4 * 6.32)}{(0.02 * 12.8)} = 1.97 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

Le choix commercial est de 2.5mm².

IV.3. Installation d'éclairage public solaire à LED

L'image suivant montre un éclairage public solaire à LED installé à Tazmalt.



FigureIV.1 : Éclairage public solaire à LED (installation W. Béjaïa, Juillet 2016). [1]

IV.3.1 Schémas de câblage éclairage public solaire à LED

Afin de réaliser un éclairage public solaire à LED, il est nécessaire d'utiliser un schéma explicatif. Dans notre cas le schéma de réalisation est le suivant :

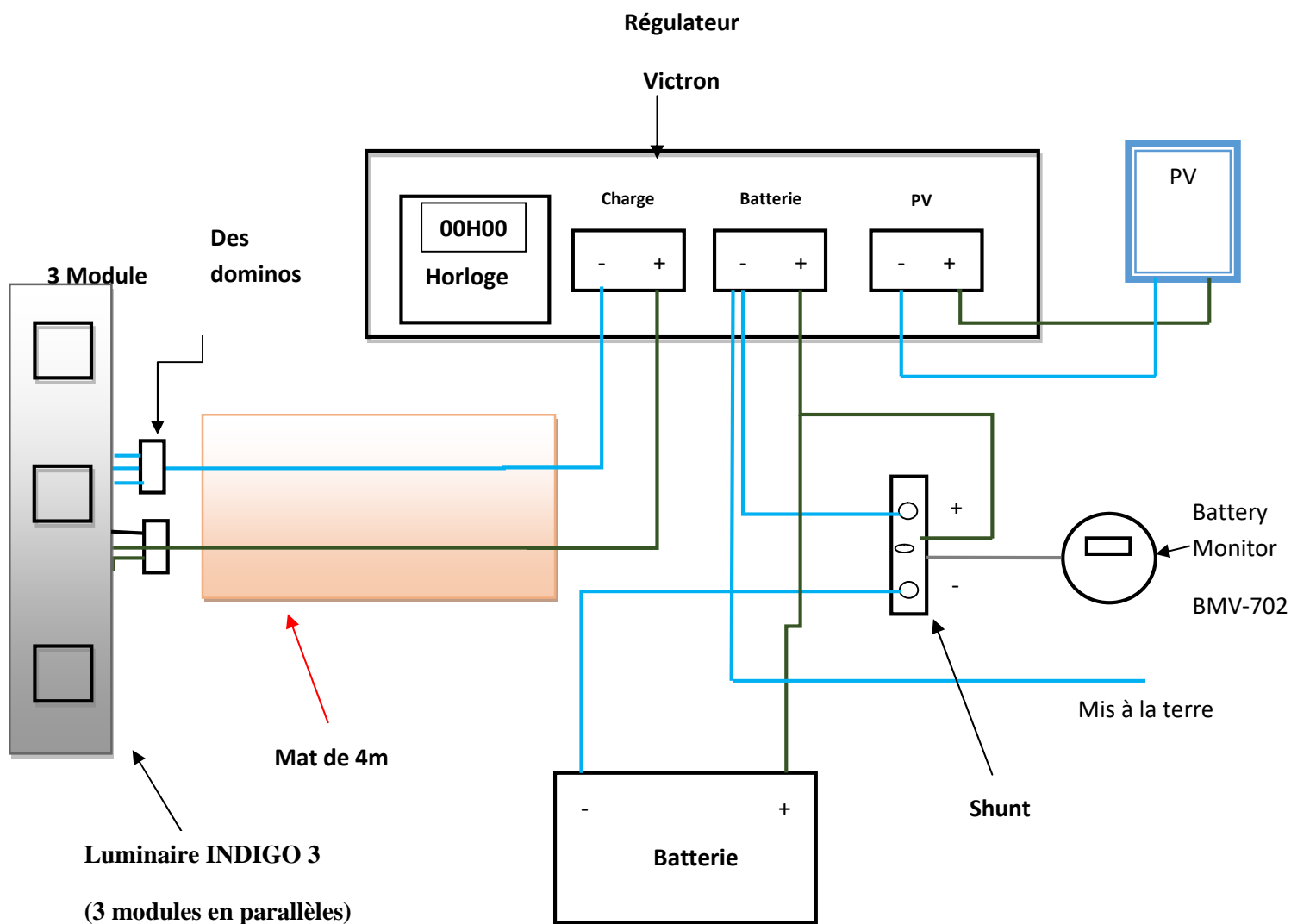


Figure IV.2 : schémas de câblage pour l'Installation de l'éclairage public solaire à LED.

Nous allons d'abord effectuer un branchement par un câble électrique qui sera un câble de qualité car il devra subir les agressions du vent, de la pluie, du soleil, du gel, croissance marines et autres.

IV.3.2 La réalisation d'un éclairage public solaire à LED

La réalisation d'un éclairage public solaire à LED chez INDIGO ENERGIE Algerie.



Figure IV.3 : Réalisation d'un éclairage public solaire à LED.

IV.4 Technologie photovoltaïque

IV.4.1 Les principaux facteurs influençant la production d'énergie électrique avec un panneau solaire

➤ L'ensoleillement

La quantité d'énergie produite par un panneau dépend de l'ensoleillement, aussi appelé insolation, est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée, s'exprimant en mégajoules par mètre carré, MJ/m².

Pour la ville de Bejaïa la valeur de l'ensoleillement moyen mensuelle du mois le plus défavorable (décembre) est 2.3 kWh/m²/jour. [4]

➤ L'orientation et l'inclinaison

Pour avoir un bon rendement c'est-à-dire pour capter le maximum de lumière, nous respectons les conditions suivantes : une orientation plein Sud et une inclinaison de 45° par rapport au plan horizontal. [4]

➤ Irradiation

Irradiation est définie comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m² lorsque l'irradiante diminue, le courant PV diminue proportionnellement. [4]

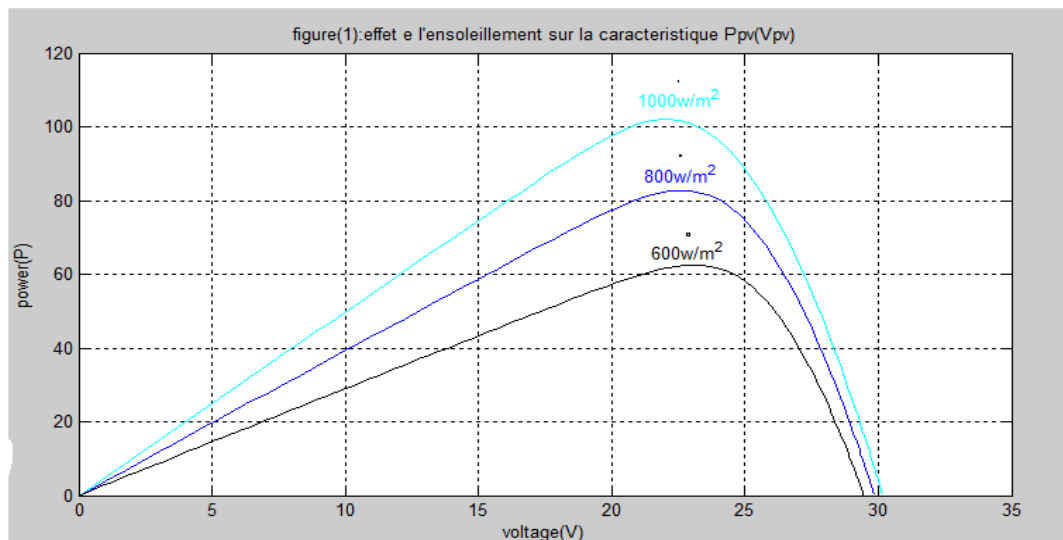
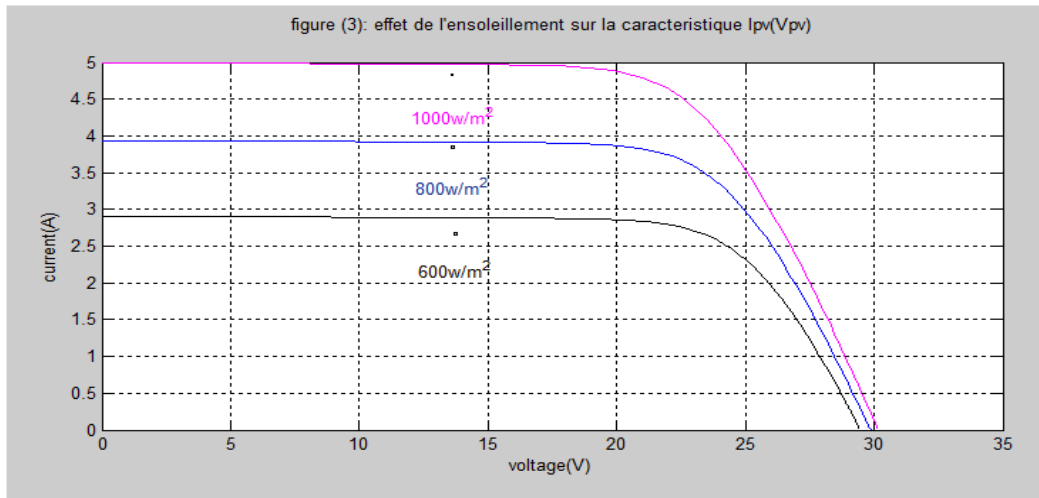


Figure IV.4 : effet de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$.

A partir des courbes précédentes on peut remarquer que :

- La baisse d'éclairement fait diminuer fortement la valeur du courant maximal, par contre la tension maximale diminue faiblement.
- Le point de puissance optimale chute brusquement si l'ensoleillement diminue.

➤ **Température**

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température. [4]

Pour un ensoleillement maintenu de 1 KW/m^2 (100%) constant, nous varions la température.

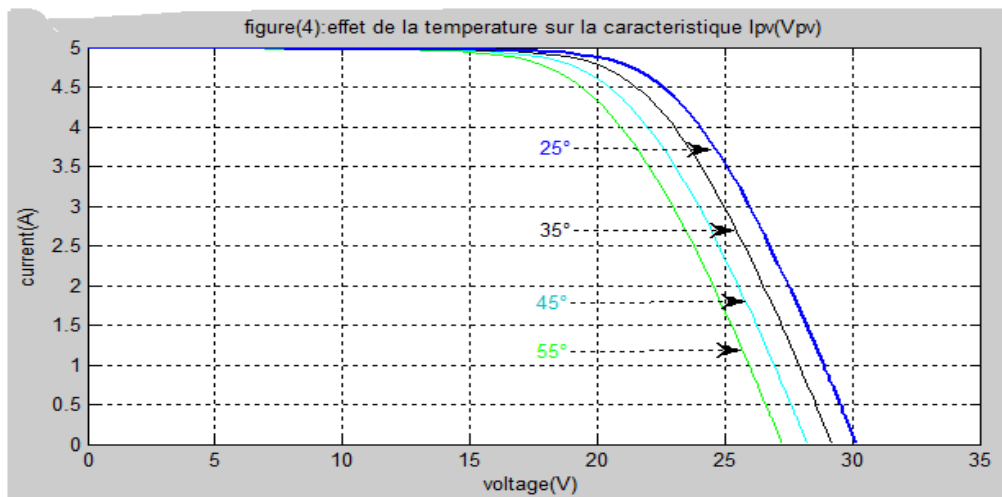
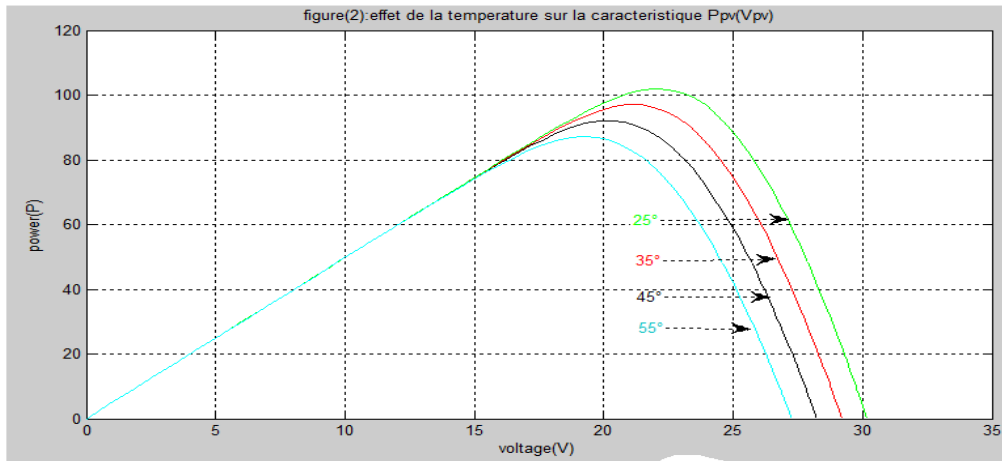


Figure IV.5 : effet de la température sur la caractéristique Ppv(Vpv).

A partir des courbes précédentes, nous remarquons que le courant maximal est faiblement dépendant de la température alors que la tension est très sensible à la variation de la température. L'augmentation de la puissance optimale va dans le sens inverse de la température.

➤ **Ombrage**

Un endroit qui n'est pas bien éclairé par le soleil durant toute la journée cause des obstacles. Par exemple un bâtiment ou un arbre, ne fait pas fonctionner correctement les panneaux cela veut dire une diminution du rendement. [4]

IV.4.2 Installation de panneau

Pour installer les panneaux solaires dans un éclairage public, il est nécessaire de vérifier les conditions suivantes :

➤ **Disposition des panneaux :**

Les structures doivent être solides, fixées au support, pour résister à des vents d'au moins de 150 Km/h. De plus, elles doivent être fiables dans le temps, elles doivent utiliser un matériau de bonne fiabilité. [4]

➤ **Fixation du panneau :**

La fixation des panneaux doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- Maintien de l'orientation.
- Résistance contre le vent et les autres intempéries.
- Résistance contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol.
- ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement. [4]

IV.5. Technologie des régulateurs

IV.5.1 Régulateur de charge solaire victron

Le principe est d'accéder sur PC à la base de données enregistrée par le régulateur



Figure IV.6 : régulateur victron connecté au PC.

➤ **Mode minuterie solaire**

Événement 1 : au coucher du soleil l'éclairage s'allume à 60% de la puissance maximale

Événement 2 : après le coucher du soleil et pendant 7h l'éclairage s'allume à 30% de la puissance maximale.

Événement 3 : au lever du soleil l'éclairage s'éteint.

Il est possible de programmer jusqu'à 5 périodes "à l'heure programmée" avec l'horloge.

Le régulateur de charge est indispensable pour maintenir des performances optimales et une longue durée de vie des batteries et des installations solaires.

➤ **Monitoring du régulateur de charge**

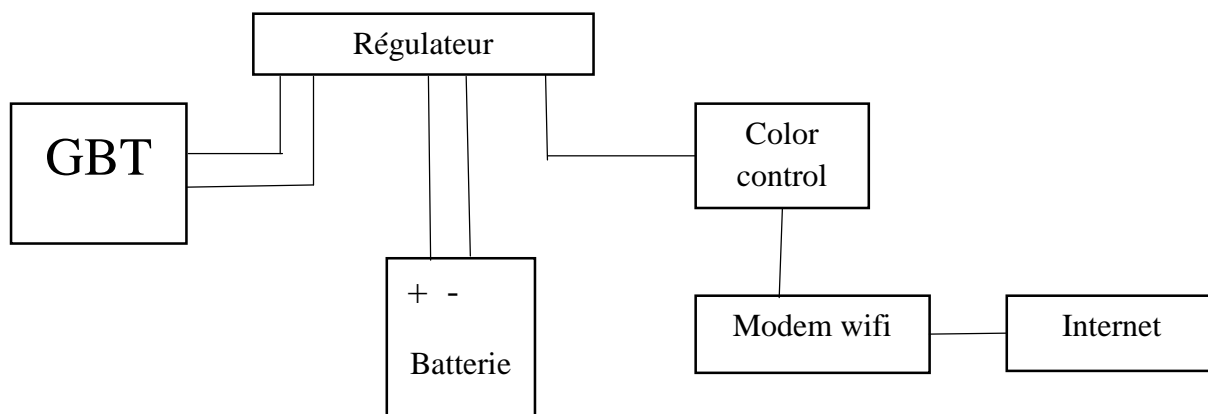


Figure IV.7 : Schéma de câblage d'essai sur le redresseur.



FigureIV.8 : Banc d'essai réalisé sur le régulateur.

➤ Résultats expérimentaux

Tableau IV.4 les résultats obtenus à partir de l'essai.

Générateur à basse tension			Lecture sur Color control (sortie)			Les pertes	rendement
V(v)	I(A)	P(W)	P(W)	V(V)	I(A)	P(W)	n(%)
19.52	2.233	43,59	42	13.5	3.1	1.59	96
20.52	2.233	45,82	43	13.6	3.2	2.82	93
21.52	2.233	48	46	13.6	3.4	2	96
22.52	2.233	50,28	48	13.6	3.5	2.28	95
23.52	2.233	52,52	50	13.6	3.6	2.52	95
24.52	2.233	54,75	52	13.7	3.8	2.75	95
25.52	2.233	57	55	13.7	4	2	96

IV.6. La technologie des batteries

IV.6.1 Installions des éléments de la batterie Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4).

L'utilisation de la batterie peut présenter des dangers : risque d'explosion, dégagement de gaz toxiques.

La durée de vie et le bon fonctionnement de l'installation dépend des conditions d'installation et d'exploitation. Compte tenu de cela, l'installation de ces éléments doit être effectuée avec un grand soin.

- D'être bien ventilé pour garantir la circulation des gaz.
- D'être à une température proche de 25°C, pour assurer le bon fonctionnement des éléments.

➤ Influence de la température sur la capacité

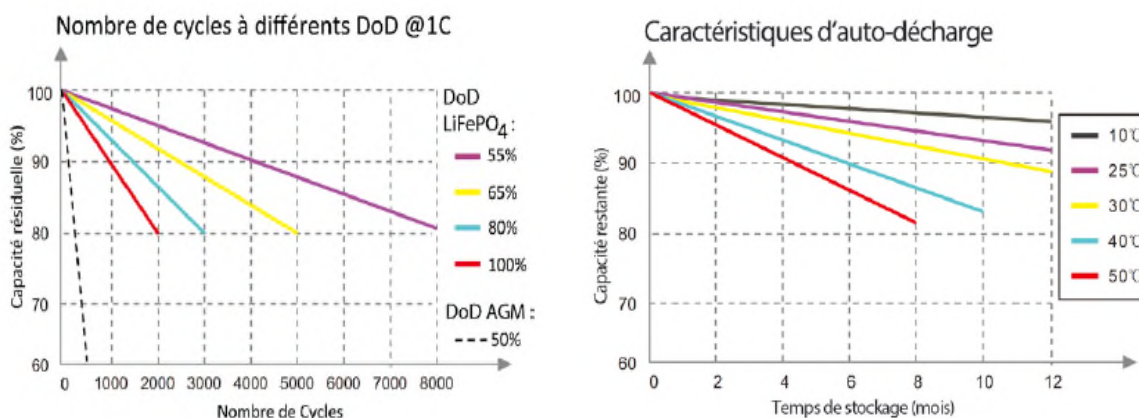


Figure IV.9 : influence de la température sur la capacité de la batterie Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4). [1]

La durée de vie d'une batterie dépend de la profondeur de décharge et de la température de stockage. Si le profond de décharge et la température augmente la durée de vie diminue.

Pour les batteries Lithium Ferro-Phosphate (LiFePO4) la durée de vie reste très importante à une profondeur de décharge de 50% est à 8000 cycles par contre la batterie AGM seulement à une durée de vie de 500 cycles.

IV.7. Gestion d'éclairage public

IV.7. 1 Présentation, Batterie monitor série BMV-702

Batterie monitor série BMV-702, indicateur d'autonomie restante, et bien plus encore La capacité restante de la batterie dépend des ampères-heures consommés, du courant de décharge, de la température et de l'âge de la batterie. Pour tenir compte de toutes ces variables, des algorithmes logiciels complexes sont nécessaires. En plus des options d'affichage de base, telles que la tension, le courant et les ampères-heures consommés, la série BMV-702 affiche également l'état de charge, l'autonomie restante et la consommation en Watt. Le BMV-702 présente une entrée supplémentaire qui peut être programmée pour mesurer la tension (d'une seconde batterie), ou la température ou la tension. [1]



Figure IV.10: Batterie monitor BMV-702. [1]

Figure IV.11: Shunt BMV de 500 A/50mV. [1]

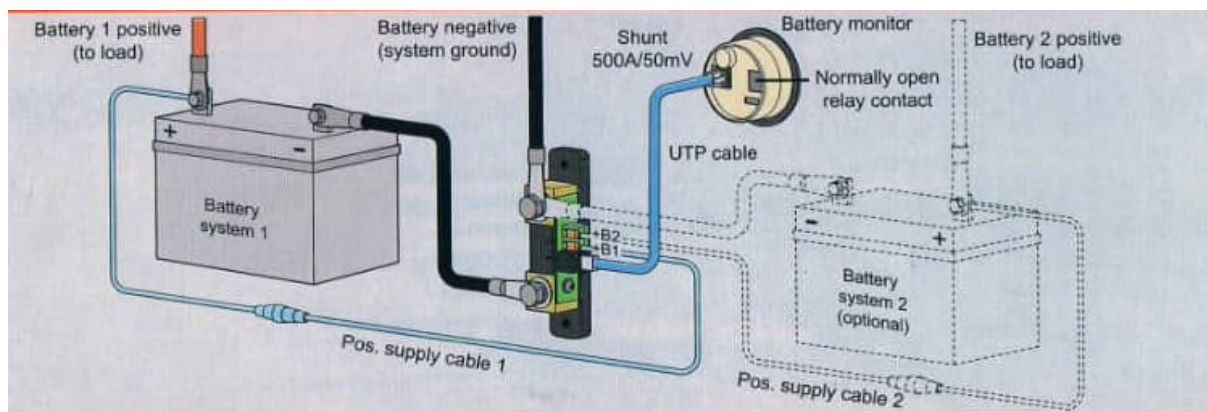


Figure IV.12 : schémas de câblage de la batterie monitor. [1]

La figure IV.13 montre la visualisation des paramètres mesurés par batterie monitor sur le pc en pleine journée de l'éclairage public solaire à LED (installation W. Béjaïa, Juillet 2016).

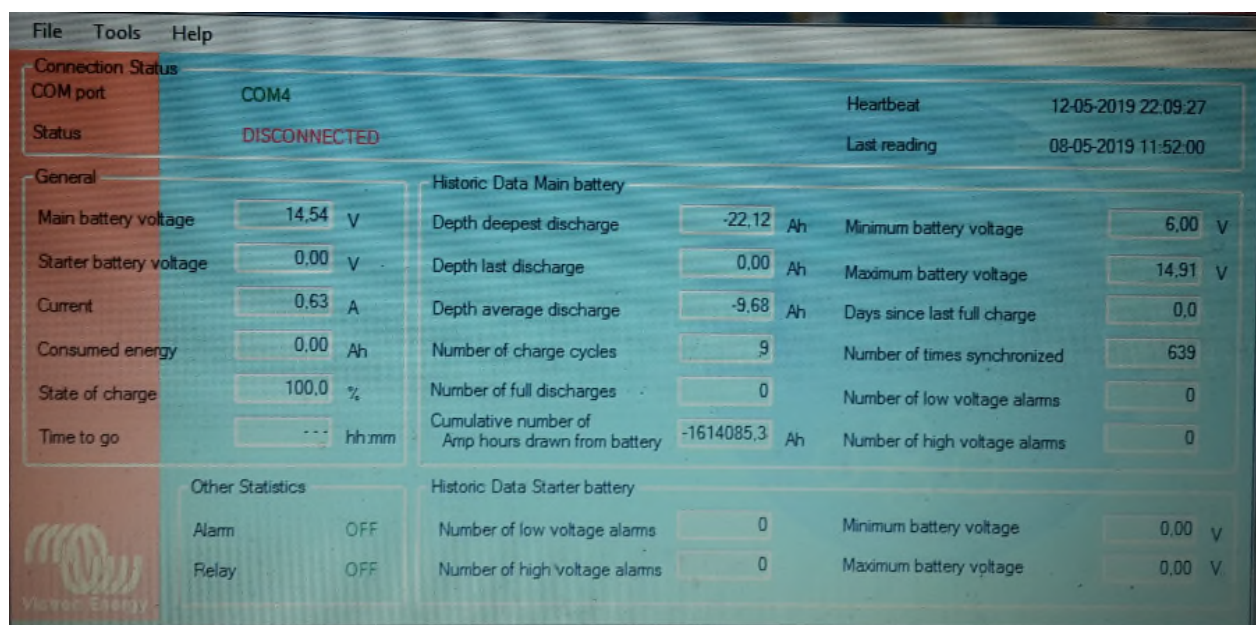


Figure IV.13 : tests effectués avec batterie monitor série BMV-702.

IV.8. La technologie des LEDs

IV.8.1 Etude comparative entre les luminaires à LED d'INDIOGO et des luminaires classiques :

a- Réduire de la facture énergétique en diminuant la consommation électrique (jusqu'à 70%) avec des sources à l'efficacité énergétique.

- Exemple d'une installation de 33 luminaires de lampe sodium 250w remplacées par un luminaire à LED 120w sur une distance de 1km.
 - Etude portée sur 1 candélabre avec un seul luminaire :

Tableau IV.5 : la facture d'un éclairage public de 250 w annuel.

Eclairage public avec une lampe sodium 250 w						
Puissance (W)	Fréquence d'utilisation par jour	Consommation Par jour (Kwh)	Prix unitaire sonalgaz par (Kwh)	Facteur à payer par jour	Facture à payer par trimestre	Facture à payer par année
250	12h	3	4 DA	12 DA	1080 DA	4320 DA

- **la solution apportée à ce luminaire :**

Tableau IV.6 : la facture d'un éclairage public de 120 w annuel.

Les nouvelles gammes à LED 120 w						
Puissance WATT	Fréquence d'utilisation par jour	Consommation Par jour (Kwh)	Prix unitaire sonalgaz par Kwh	Facture à payer par jour	La Facture à payer par trimestre	La Facture à payer par année
120 w	12h	1.440	4 DA	5.76 DA	518.4 DA	2073.6 DA

D'après les deux tableaux, on remarque qu'il y a une réduction de 2246.4DA par an sur la facture et cela juste pour un seul luminaire.

Sur 1 km d'une route étudiée, on aura besoin de 33 luminaires ce qui fera une réduction de la facture de :

$$2246.4\text{DA} \times 33\text{luminaire} = 74131\text{DA}$$

- Exemple d'une installation de 50 luminaires de lampe sodium 150w remplacées par un luminaire à LED à 60 w.

Tableau IV.7 : la facture d'un éclairage public de 150 w annuel.

Eclairage public avec une lampe sodium 150 w						
Puissance (W)	Fréquence d'utilisation par jour	Consommation Par jour (Kwh)	Prix unitaire sonelgaz par Kwh	Facture à payer par jour	Facture à payer par trimestre	Facture à payer par année
150	12h	1.8	4 DA	7.2 DA	648 DA	2592 DA

- **la solution apportée à ce luminaire :**

Tableau IV.8 : la facture d'un éclairage public de 60 w annuel.

Les nouvelles gammes à LED de 60 w						
Puissance (W)	Fréquence d'utilisation par jour	Consommation Par jour (Kwh)	Prix unitaire sonelgaz par Kwh	Facture à payer par jour	Facture à payer par trimestre	Facture à payer par année
60 w	12h	0.72	4 DA	2.88 DA	259.2 DA	1036.8DA

D'après les deux tableaux, on remarque qu'il y a une réduction de 1555.2 DA par an sur la facture et cela juste pour un seul luminaire.

Sur 1 km d'une route étudiée, on aura besoin de 50 luminaires ce qui fera une réduction de la facture de :

$$1555.2\text{DA} \times 50\text{luminaire} = 77760 \text{ DA}$$

b- réduire le coût de maintenance :

Pour certains éclairages publics, les ampoules sont changées tous les 3 ans au maximum. En effet, la puissance lumineuse se dégrade progressivement au point d'être considérée comme insuffisante. Avec les LED à très basse consommation, les opérations de maintenance sont moins fréquentes du fait de la robustesse de cette technologie.

c-réduire la facture écologique :

Objectifs : réduire l'émission de CO₂ dans l'atmosphère, garantir un éclairage de qualité, adapté à l'usage, et limiter la pollution lumineuse :

La réduction de CO₂ dans l'atmosphère est un enjeu majeur de tous les pays, et le choix de solutions d'éclairage public à base de LED très basse consommation permet de contribuer grandement à la réduction de ces émissions de CO₂.

Il est considéré comme équivalent de 100 g de CO₂ rejeté par KWh consommé (source ADEME).

Tableau IV.9 le CO₂ non rejeté dans l'atmosphère.

le luminaire à remplacer (W)	Gain énergétique (W)	L'énergie Réduite en une année pour un seul luminaire (Wh)	l'émission de CO ₂ Réduite en une année (kg CO ₂ /an)
120 au lieu 250	130	569400	56.94
60 au lieu 150	90	394200	39.42

D'après le tableau, on remarque qu'il y a une réduction de CO₂ très importante par an et cela juste pour un seul luminaire remplacé.

Le remplacement des luminaires de 120W Sur 1 km d'une route étudiée, on aura besoin de 33 luminaires ce qui fera une réduction de l'émission de CO₂ de :

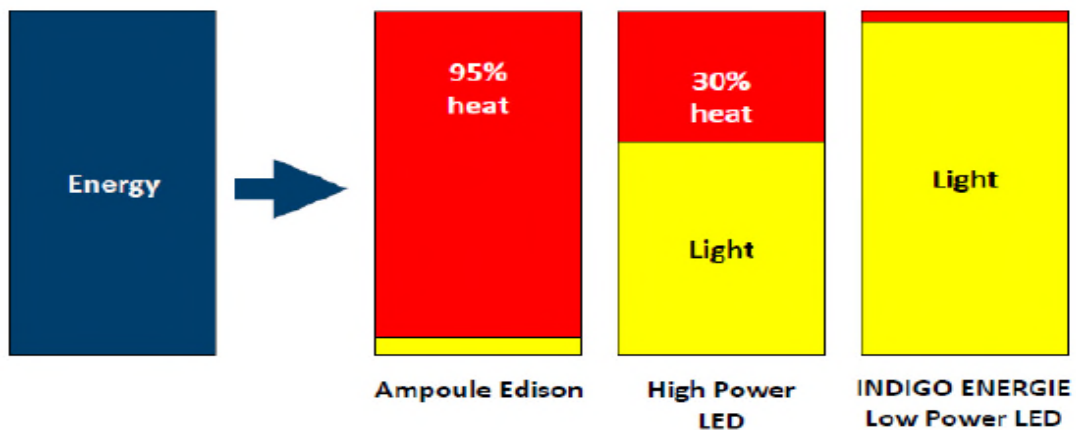
$$56.94 * 33 \text{ luminaire} = 1879.02 \text{ kg CO}_2/\text{an.}$$

Le remplacement des luminaires de 60W Sur 1 km d'une route étudiée, on aura besoin de 50 luminaires ce qui fera une réduction de l'émission de CO₂ de :

$$39.42 * 50 \text{ luminaire} = 1971 \text{ kg CO}_2/\text{an.}$$

D- La pollution lumineuse est réduite :

- Pas d'émission de lumière au-delà de l'horizon.
- Pas d'émission d'UVA et UVB.
- Cette lumière n'attire pas les insectes (ce qui a un effet favorable sur la maintenance).
- Efficacité lumineuse > 150 lm/W. [1]



- Critères environnementaux et recyclage.

IV.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons dimensionné un éclairage public solaire à LED. Il est fait en utilisant la méthode du mois le plus défavorable Le but est d'aboutir aux choix pour plus d'efficacité et une meilleure rentabilité pour notre installation. On utilise un Panneau photovoltaïque, régulateur, batteries, les câbles et INDIGO 3.

L'éclairage public solaire à LED réalisé est constitué de plusieurs technologies telles que :

- la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu,

- la technologie du régulateur est pour maintenir des performances optimales et une longue durée de vie des batteries et des installations solaires,
- l'intégration de système de gestion d'éclairage public permet de maîtriser l'énergie.

D'après la comparaison faite entre les éclairages à LED froide et l'éclairage public classique nous avons pu calculer la facture énergétique réduite et le CO₂ non rejeté dans l'atmosphère ainsi que montrer la réduction du coût de maintenance et de la pollution lumineuse.

Chapitre V

**Étude photométrique par le logiciel
DIALUX**

V.1 Introduction

DIALUX éclairage public est un logiciel développé par l'entreprise DIAL GmbH, plateforme de services pour les techniques d'éclairage. DIALUX permet le calcul de la lumière du jour et de la lumière artificielle. Ce calcul repose sur la norme DIN 5034 et la publication 110 de la CIE. DIALUX permet de calculer les éclairagements, les facteurs lumières du jour, les luminances, et permet de réaliser des études d'ombrage ainsi que des rendus de couleurs. Le logiciel permet en plus du calcul, de simuler et de vérifier de façon professionnelle tous les paramètres des installations d'éclairage public, fournissant des résultats normalisés. DIALUX est également flexible dans l'exécution de l'étude photométrique de sorte que l'on puisse modifier les valeurs en vue d'optimiser les résultats. [8]

V.2 les classes ME

Ces classes d'éclairage concernent les véhicules motorisés circulant sur la route avec des vitesses moyennes ou élevées. [5]

V.3 Définition des paramètres de vérification de la classe ME

V.3.1 La luminance moyenne (L_{min})

Elle se définit simplement comme la moyenne des luminances en différents points et s'exprime en cd/m^2 . Ce paramètre permet de vérifier si une luminance suffisante est maintenue de manière générale sur l'ensemble du projet pour permettre une bonne visibilité. Elle se calcule à l'image d'une moyenne arithmétique. [5]

V.3.2 Le facteur d'uniformité générale de luminance (U_0)

Afin de limiter le contraste entre les différentes portions de la route, il est admis un seuil minimal de luminance. Cette luminance minimale conduit à fixer un facteur d'uniformité générale de manière à assurer un contraste imperceptible et sans impact sur la visibilité des usagers de la route. Ce facteur se détermine par le rapport entre la luminance minimale et la luminance moyenne. Il est donc adimensionnel. [5]

V.3.3 Le facteur d'uniformité longitudinale de luminance (U_1)

Ce facteur permet d'assurer une uniformité de la répartition de la luminance le long de la chaussée, dans le souci d'éviter la succession de zones claires et de zones sombres

susceptibles de provoquer la fatigue des yeux. Il se détermine par le rapport entre la luminance minimale et la luminance maximale. [5]

V.3.4 Le taux d'éblouissement (TI)

Le taux d'éblouissement, tiré de l'anglais « Threshold Increment » (TI), permet de s'assurer que la lumière produite par le dispositif d'éclairage n'est pas trop forte de sorte à aveugler les usagers de la voie. Il se détermine en fonction de la luminance de voie5 et la luminance moyenne.

V.3.5 Le rapport de contiguïté ou d'éclairage des abords (SR)

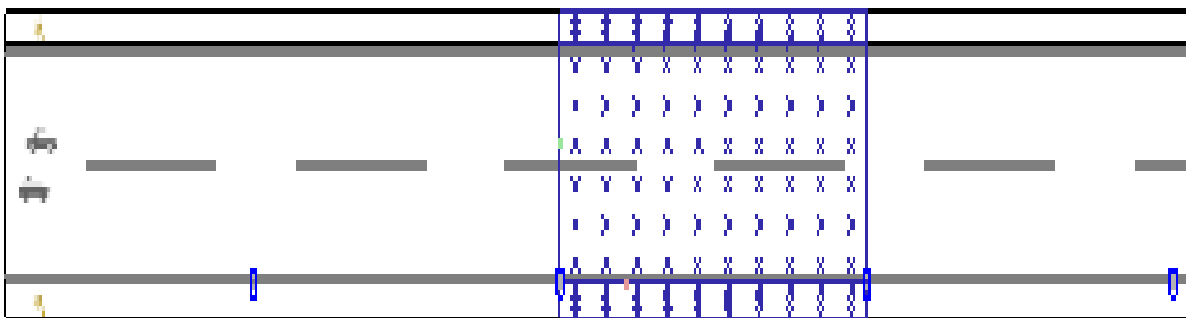
Le rapport de contiguïté noté SR pour « Surrounded Ratio », traduit la mesure dans laquelle le luminaire éclaire les abords immédiats (les trottoirs par exemple). Il correspond au rapport entre l'éclairement sur le trottoir et l'éclairement de la voie. [5]

Projet 1

V.4 Besoin en éclairage public

Une commune fournit le plan suivant :

- Trottoir 2 (Largeur : 1.000 m).
- Chaussée 1 (Largeur : 7.000 m, Nombre de voies : 2).
- Trottoir 1 (Largeur : 1.000 m).
- Facteur de maintenance : 0.67



FigureV.1 : La Rue 1 à étudier.

V.5 Choix de luminaires

L'étude solaire porte sur les lampes à LED, nous utiliserons le logiciel DIALUX et le catalogue de luminaires Philips pour l'étude photométrique. Cependant le catalogue ne présente pas de lampes à LED fonctionnant en courant continu. Nous trouverons donc l'équivalent de notre luminaire réel sur le catalogue Philips pour faire notre simulation sur logiciel.

Tableau V.1 Caractéristiques des deux types de lampes.

Désignation	Le flux lumineux (Lm)	Puissance (W)	Efficacité énergétique (Lm/W)
Lampe réelle	7200	60	120
Lampe équivalente	7400	61	121



Figure V.2 : Luminaire réel de type IE-L300-60 – luminaire à LED 60W. [1]

V.6 Paramètres d'entrée sur DIALUX

Sur DIALUX nous entrons la catégorie de lampe prévu pour notre projet. La figure suivante illustre la présentation du luminaire sur le logiciel.

Types : PHILIPS BGP322 T35 1XECO71-3S/740 DC

Flux lumineux de Luminaire : 7400 lm

Puissance par luminaire : 61.0 W

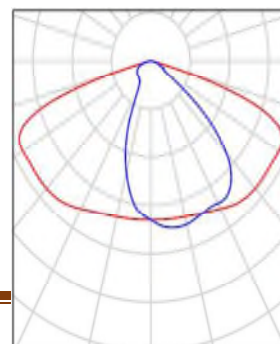
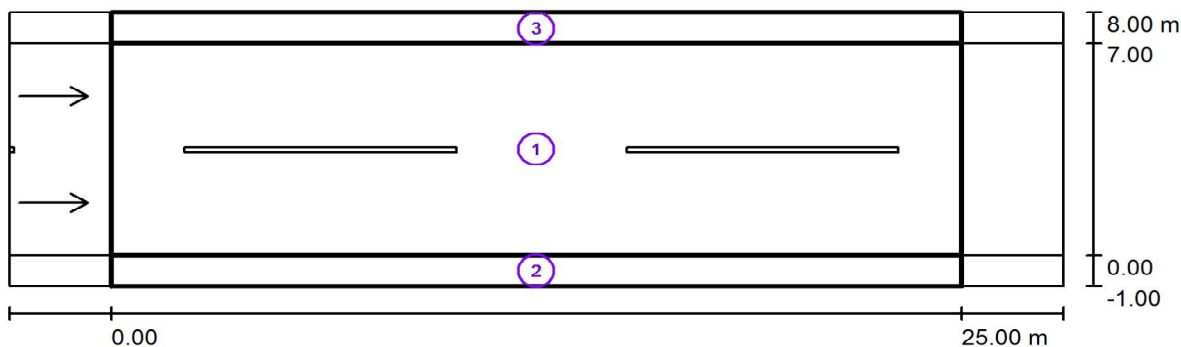


Figure V.3 : Type de Luminaire à utiliser. [2]



FigureV.4 : Route utilisée

Disposition:	d'un côté, en bas
Espacement poteau:	25.000 m
Hauteur de montage (1):	8.500 m
Hauteur du point d'éclairage:	8.372 m
Saillie (2):	-0.550 m
Inclinaison du bras (3):	10.0 °
Longueur du bras (4):	1.000 m

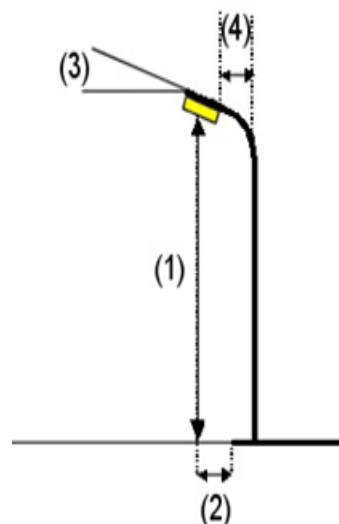
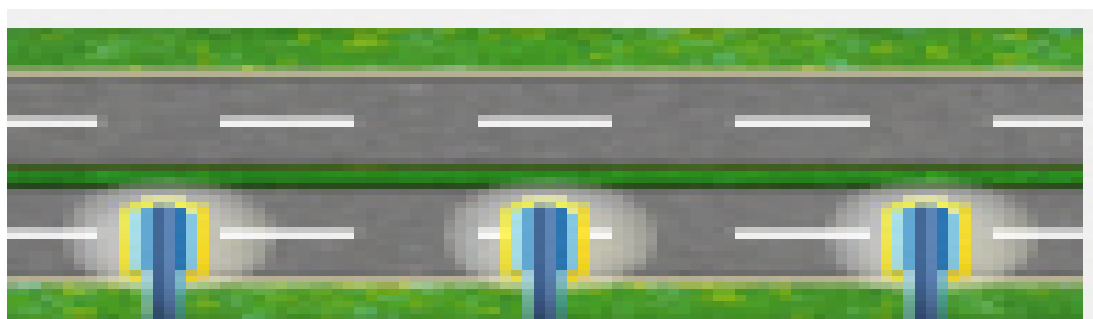


Figure V.5 : Paramètres d'implantation des candélabres de la voie. [2]



FigureV.6 : Type d'implantation d'un côté, en bas. [2]

V.7 Résultats de l'étude par DIALUX

Le dimensionnement de l'éclairage public consiste à calculer les paramètres photométriques suivants :

- La luminance moyenne (L)
- Le facteur d'uniformité générale (U0)
- Le facteur d'uniformité longitudinale (UI)
- Calcul de l'éblouissement perturbateur (TI)

L'obtention des paramètres de sortie permettra de juger la qualité de l'installation selon les résultats attendus par les normes de calcul suivant DIALUX.

Après avoir entré le type de la lampe et les caractéristiques d'implantation des candélabres, nous simulons et nous obtenons les résultats suivants :

Eléments de rue correspondants: Chaussée 1.

Revêtement: R3, q0: 0.070

Classe d'éclairage choisie: ME4a

(Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valeur effective selon calcul:	0.78	0.58	0.91	7	0.59
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Rempli/Non rempli:	✓	✓	✓	✓	✓

Eléments de rue correspondants: Trottoir 2.

Classe d'éclairage choisie: CE5

(Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	E_{moy} [lx]	U0
Valeur effective selon calcul:	9.99	0.87
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Rempli/Non rempli:	✓	✓

Eléments de rue correspondants: Trottoir 1.

Classe d'éclairage choisie: CE5

(Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	E_{moy} [lx]	U0
Valeur effective selon calcul:	12.84	0.49
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Rempli/Non rempli:	✓	✓

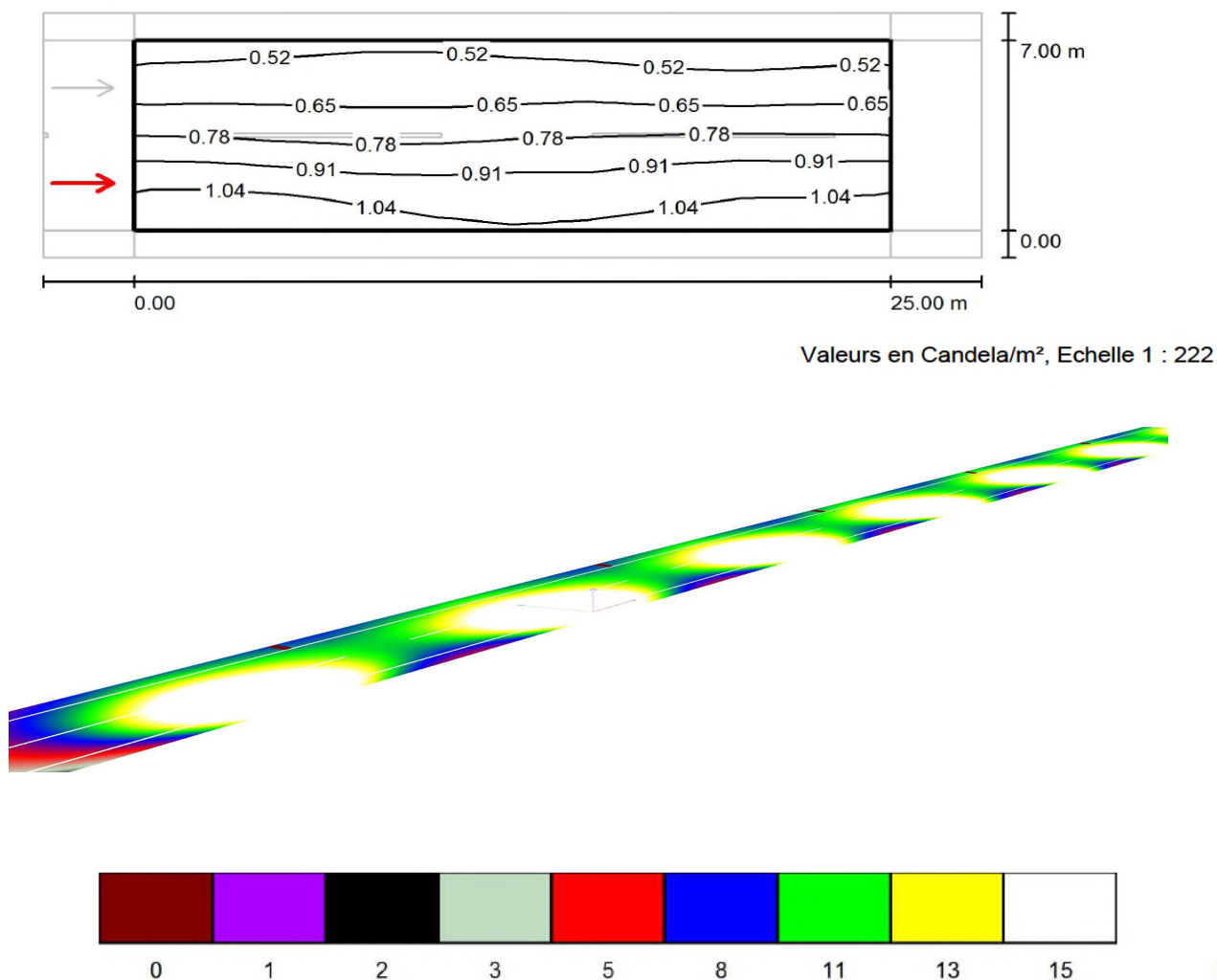


Figure V.7 : Les résultats photométriques du projet 1. [2]

Ces résultats donnent le niveau d'éclairage de la première chaussée avec les valeurs réelles. Toutes ces valeurs calculées satisfont aux valeurs recommandées selon la classe choisie.

Ainsi, nous pouvons conclure que la chaussée sera bien éclairée car ces caractéristiques photométriques respectent les consignes des normes d'éclairage public intégrées dans DIALUX.

Projet 2

V.8 Besoin en éclairage public

Une commune fournit le plan suivant :

- Trottoir 2 (Largeur : 1.500 m).

- Chaussée 2 (Largeur : 10.000 m, Nombre de voies : 3.
- Terre-plein central 1 (Largeur : 1.000 m, Hauteur : 0.000 m).
- Chaussée 1 (Largeur : 10.000 m, Nombre de voies : 3.
- Trottoir 1 (Largeur : 1.500 m).
- Facteur de maintenance : 0.67

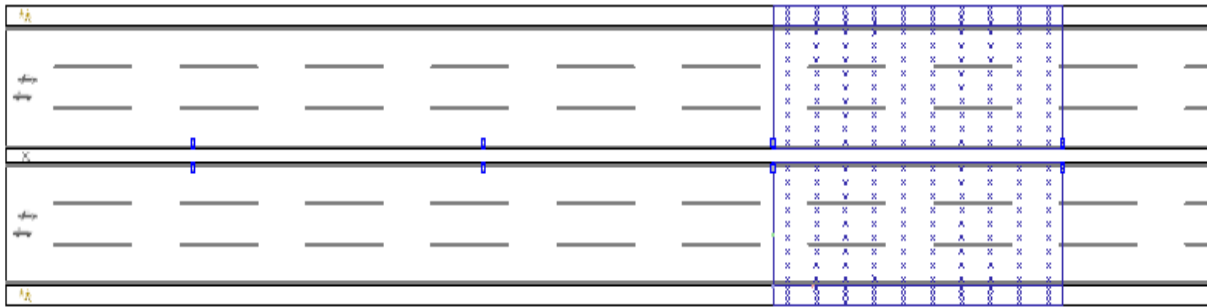


Figure V.8 : La rue 2 à étudier.

V.9 Choix de luminaires

Tableau V.2 : Caractéristiques des deux types de lampes. [2]

Désignation	Le flux lumineux (Lm)	Puissance (W)	Efficacité énergétique (Lm/W)
Lampe réelle	14.400	120	120
Lampe équivalente	14900	119	125



Figure V.9 : Luminaire réel de type IE-L300-120 – luminaire à LED 120W. [1]

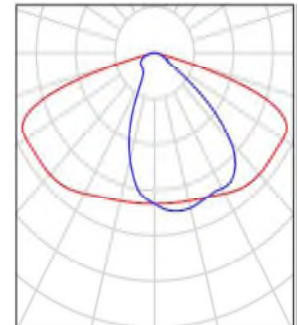
V.10 Paramètres d'entrée sur DIALUX

Sur DIALUX nous entrons la catégorie de lampe prévue pour notre projet. La figure suivante illustre la présentation du luminaire sur le logiciel.

Types : PHILIPS BGP322 T35 1xECO142-3S/740 DC

Flux lumineux Luminaire : 14.400 lm

Puissance par luminaire : 120 W



FigureV.10 : Type de Luminaire à utiliser. [2]

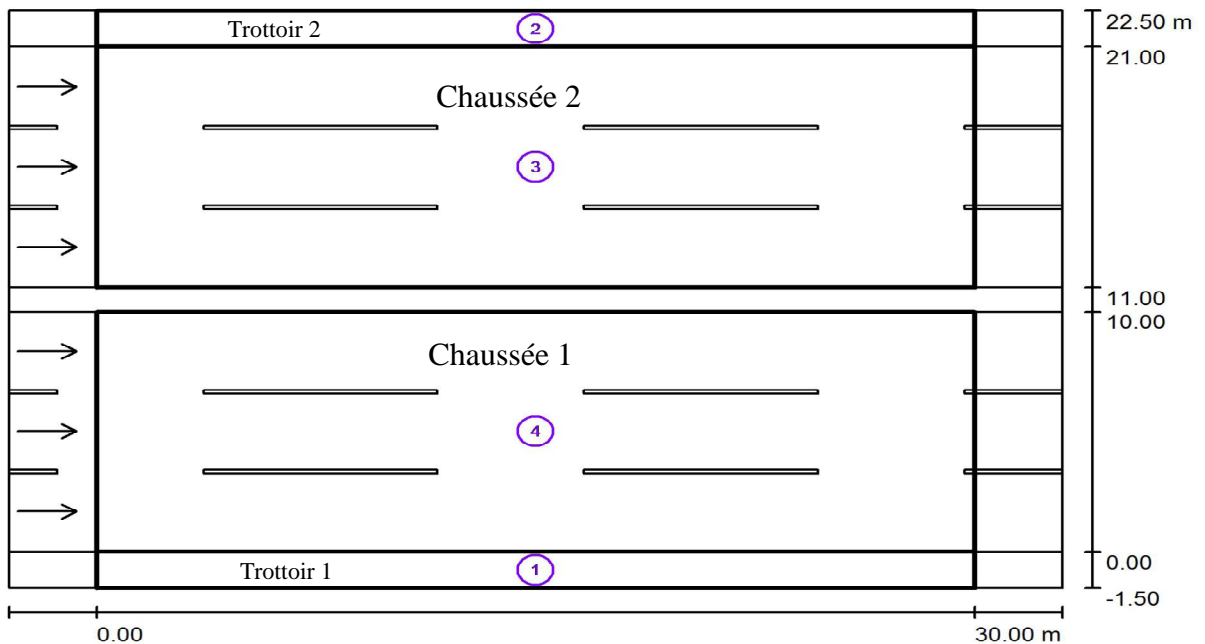


Figure V.11 La route utilisée dans le Projet 2. [2]

Disposition:	sur séparateur
Espacement poteau:	30.000 m
Hauteur de montage (1):	16.000 m
Hauteur du point d'éclairage:	15.874 m
Saillie (2):	0.500 m
Inclinaison du bras (3):	15.0 °
Longueur du bras (4):	0.966 m

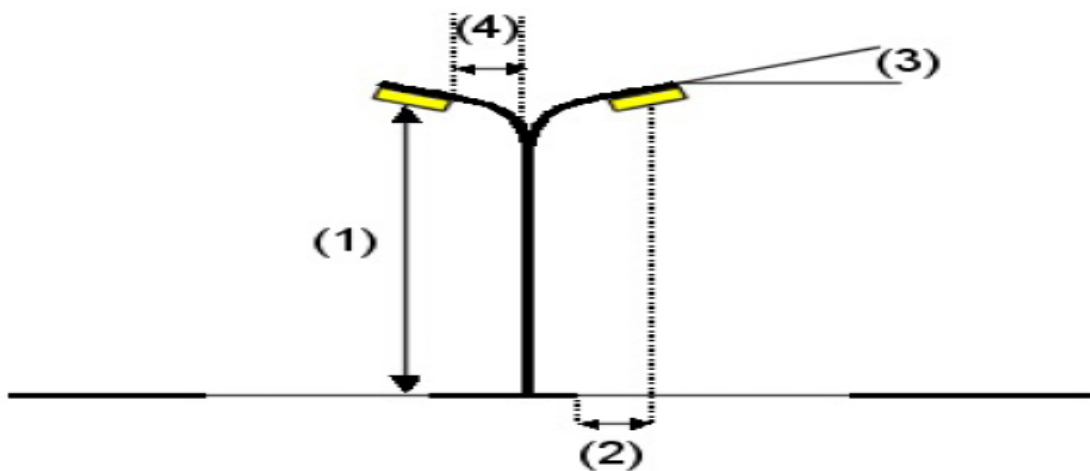


Figure V.12 Paramètres d'implantation des candélabres de la voie. [2]

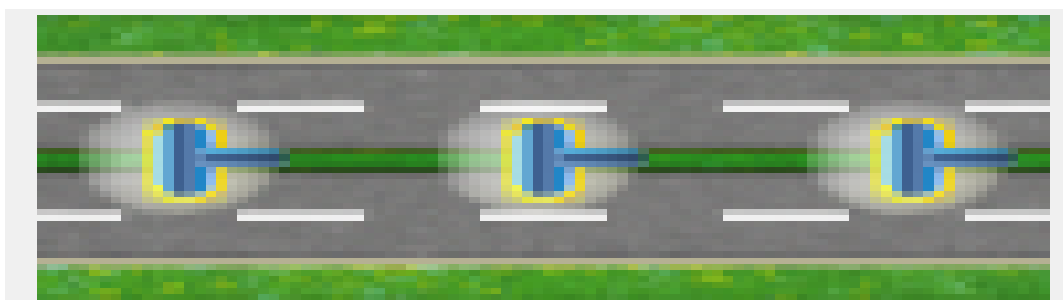


Figure V.13 Type d'implantation sur séparateur. [2]

V.11 Résultats de l'étude par DIALUX

Après avoir entré le type de la lampe et les caractéristiques d'implantation des candélabres, nous simulons et nous obtenons les résultats suivants :

Eléments de rue correspondants: Chaussée 1.

Revêtement: R3, q0: 0.070

Classe d'éclairage choisie: ME4a (Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valeur effective selon calcul:	0.76	0.70	0.92	3	0.90
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Rempli/Non rempli:	✓	✓	✓	✓	✓

Eléments de rue correspondants: Chaussée 2.

Revêtement: R3, q0: 0.070

Classe d'éclairage choisie: ME4a (Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valeur effective selon calcul:	0.76	0.70	0.92	3	0.90
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Rempli/Non rempli:	✓	✓	✓	✓	✓

Eléments de rue correspondants: Trottoir 1.

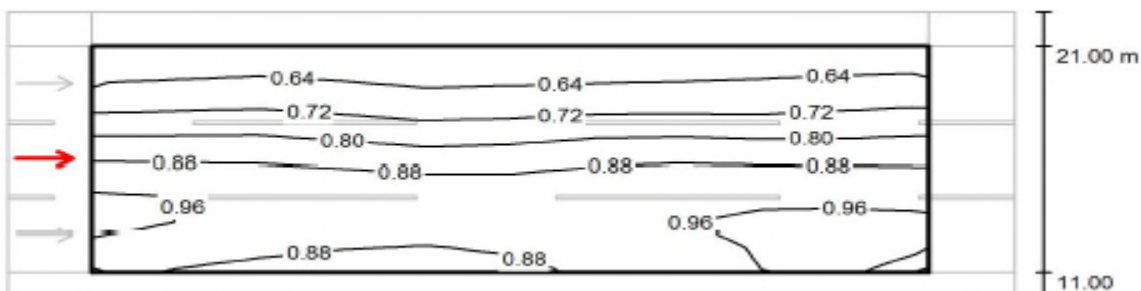
Classe d'éclairage choisie: CE5 (Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	E_{moy} [lx]	U0
Valeur effective selon calcul:	11.89	0.93
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Rempli/Non rempli:	✓	✓

Eléments de rue correspondants: Trottoir 2.

Classe d'éclairage choisie: CE5 (Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	E_{moy} [lx]	U0
Valeur effective selon calcul:	11.89	0.93
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Rempli/Non rempli:	✓	✓



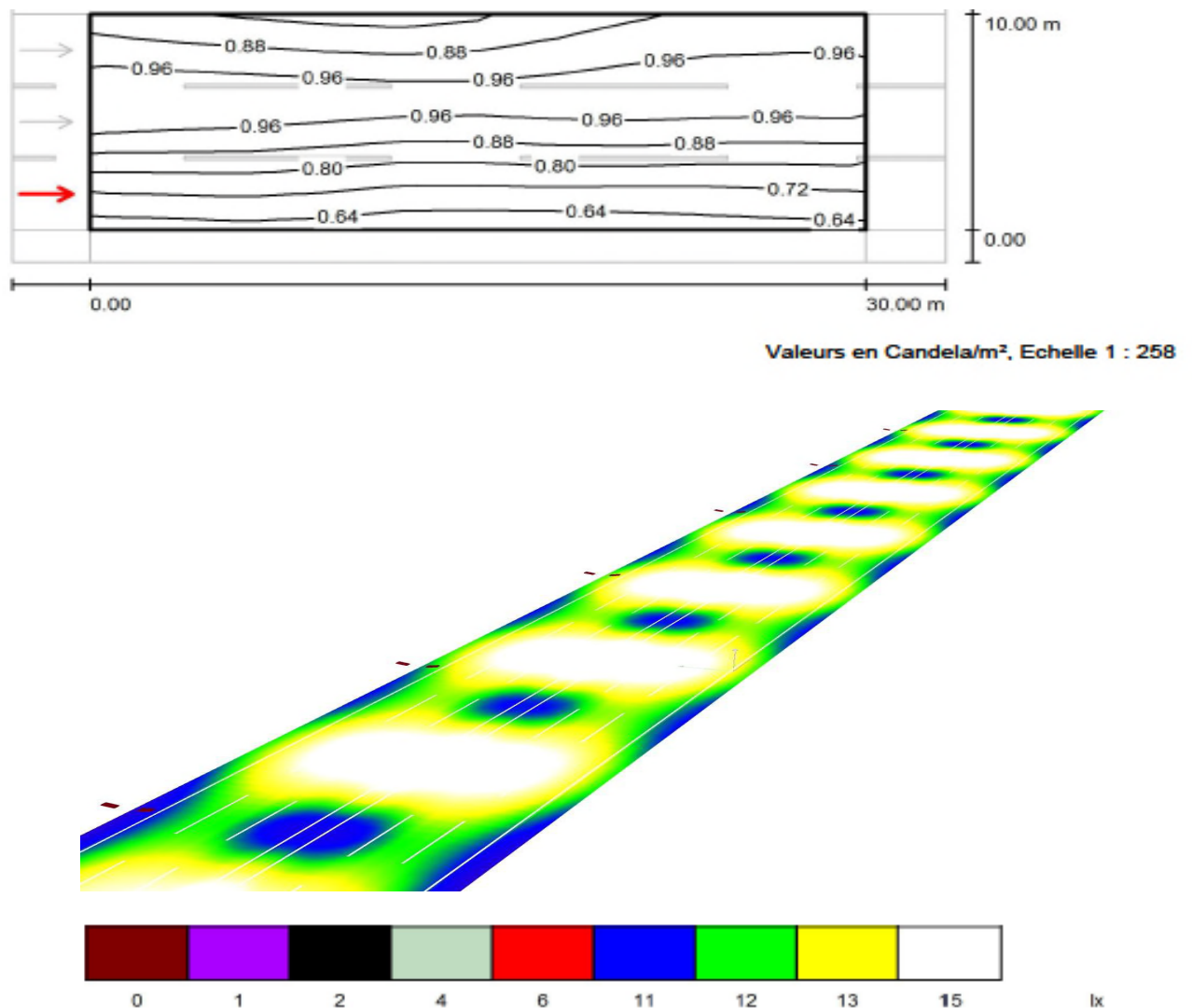


Figure 14 : Résultats photométriques avec DIALUX. [2]

Nous pouvons conclure que la chaussée sera bien éclairée car ces caractéristiques photométriques respectent les consignes des normes d'éclairage public intégrées dans DIALUX.

V.12 Conclusion

Cette étude nous a permis d'étudier la distribution d'éclairage dans une route communale et une autoroute, par les luminaires à LED à l'aide du logiciel DIALUX, les résultats obtenus, ont montré les performances des LEDs.

Ces projets montrent l'importance de l'utilisation de LED pour les applications d'éclairage public qui progressent de jour en jour tout en bénéficiant d'une durée de vie meilleure. Ceci laisse augurer un futur prometteur à cette technologie pour l'éclairage à l'échelle mondiale.

Conclusion générale

Conclusion générale

Afin de réduire les factures énergétiques mirobolantes des installations d'éclairage public, plusieurs entreprises adoptent des modèles de gestion du dit éclairage par l'introduction de nouvelles technologies qui répondent aux besoins souhaités par l'entité humaine tout en respectant l'environnement et qui mènent vers un développement durable qui est l'enjeu de ces dernières décennies.

Dans la même perspective, INDIGO ENERGIE Algérie opte une stratégie d'efficacité énergétique importante avec un prix bas concurrent. Par conséquent, un axe majeur a été évolué dans les différentes communes par l'utilisation des énergies renouvelables.

Au cours de notre stage pratique au sein de l'entreprise INDIGO ENERGIE Algérie, nous avons réalisé une comparaison entre la consommation de l'éclairage public classique (lampe sodium) et l'éclairage public solaire (LED). Cette démarche nous a permis de déduire que la consommation électrique à base de LED est plus faible par rapport aux lampes à sodium avec la même intensité lumineuse.

Ces études effectuées présentent une base à suivre pour améliorer les performances de la fonction maintenance. Cependant, elles ne pourront atteindre ses objectifs que si toutes les parties intervenantes dans l'entreprise respectent leurs engagements.

Au cours de notre travail, nous avons pu réaliser une étude sur les différentes technologies utilisées pour le développement de la stratégie d'installation des éclairages publics solaires. Nous avons pu réduire les factures d'électricité et comprendre les avantages et les inconvénients de chaque élément de l'installation.

Le système d'éclairage public solaire a pour but d'éclairer beaucoup plus les zones qui ne sont pas raccordées au réseau.

Pour réaliser une installation, il faut choisir le matériel dans les normes et effectuer le dimensionnement adéquat.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] documentations de l'entreprise INDIGO ENERGIE Algérie.
- [2] Logiciel DIALUX.
- [3] Photon application android: Google earth.
- [4] **BAKOUCHE Lynda, BEDJAOUI Thiziri, TOURI Tassadit** « La réduction de la consommation énergétique d'un habitat Algérien ». mémoire de magister, Université Abderrahmane Mira Bejaia année 2017.
- [5] **Cindy L. M. Akouavi CODJO** «étude et mise en œuvre de l'éclairage public du boulevard de France redresse riviera – Abidjan» mémoire de magister. Année 2015.
- [6] **site web**, titre d'accueil : photométrie notion de base, web : <http://leclairage.fr/knowledge-base/th-photometrie/>, mis à jour, 18février, 2019.
- [7] **site web**, titre d'accueil : grandeurs photométriques, web : http://jacob.patrick.free.fr/opalereader/co/etude_eclairage_web/co/photometrie.html, consulté le 10 avril 2019.
- [8] **OUEDRAOGO Brice Anselme B.** « suivi du projet d'éclairage public de l'avenue de la bonté/tanghin, et étude comparative entre une installation solaire et celle raccordée au réseau sonabel »Institut International d'Ingénierie Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO, mémoire pour l'obtention diplôme d'ingénieur avec grade de master, 18 janvier 2017
- [9] **YACINE Fouad** «étude des nouvelles générations de cellules photovoltaïques», mémoire, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, année 2011.
- [10] **BENCHERIF mohammed** « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension » Thèse de Doctorat, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID TLEMCEN, année 2015
- [11] **DEFAA Nassima** « étude du système d'alimentation d'éclairage public » mémoire de magister, université sidi mohammed ben abdellah, licence sciences et techniques génie électrique, année universitaire 2016/2017.
- [12] **site web**, titre d'accueil : les batteries lithium-ion, web : <http://iapi.pagespersorange.fr/batterielithium.htm>, année consulté 2019.

Références bibliographiques

- [13] **TADJINE azeddine ET ZIANE mokrane** « étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque domestique raccordé au réseau » mémoire de magister, université abderhmane mira de Bejaïa, 2011.
- [14] **site web**, titre d'accueil : GuiDEnR PHOTOVOLTAIQUE, l'information photovoltaïque, web : <http://www.photovoltaique.guidenr.fr/index.php>, année 2012.
- [15] **BRIHMAT fouzia** « l'étude conventuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV /éolienne» mémoire de magister, université mouloud mammeri de tiziouzou, année 2012
- [16] **site web**, titre d'accueil : quelle sont les différents types des batteries, web : <https://www.libow.fr/blog-avis/blog/quels-sont-les-differents-types-de-batteries-solaires/>, année mise à jour 3 mai 2019.
- [17] **Guillaume DILLESEGER** « Caractérisation de nouveaux modes de maintien en charge pour batteries stationnaires de secours », Thèse de Doctorat, université Montpellier 2, le 14 décembre 2004
- [18] **ALAIN ricaude**, « systèmes photovoltaïques ». Thèse de Doctorat, Université de savoie .article : septembre 2008.
- [19] **FIONA BELFIO lacourarie** « caractérisation thermique et lumineuse de diodes électroluminescentes en charge par méthodes locales non intrusives : influence du luminophore » Thèse de Doctorat, université de toulouse, année 2015
- [20] **Aurélien LIÈVRE** « Développement d'un système de gestion de batterie lithium-ion à destination de véhicules 'mildhybrid' détermination des indicateurs d'état (SoC, SoH et SoF) » Thèse de Doctorat, L'UNIVERSITÉ DE LYON, Année 2015.
- [21] **Elie RIVIERE** « Détermination in-situ de l'état de santé de batteries lithium-ion pour un véhicule électrique » Thèse de Doctorat, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES, année 2016.